



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

FLORE

Repository istituzionale dell'Università degli Studi di Firenze

Ingegneria delle produzioni viticole: stato dell'arte e future applicazioni.

Questa è la Versione finale referata (Post print/Accepted manuscript) della seguente pubblicazione:

Original Citation:

Ingegneria delle produzioni viticole: stato dell'arte e future applicazioni / Vieri M. ; Pagni P.P. ; Spezia G.. - In: ITALUS HORTUS. - ISSN 1127-3496. - STAMPA. - 17 (7):(2010), pp. 33-57.

Availability:

This version is available at: 2158/379570 since:

Terms of use:

Open Access

La pubblicazione è resa disponibile sotto le norme e i termini della licenza di deposito, secondo quanto stabilito dalla Policy per l'accesso aperto dell'Università degli Studi di Firenze (<https://www.sba.unifi.it/upload/policy-oa-2016-1.pdf>)

Publisher copyright claim:

(Article begins on next page)

Ingegneria delle produzioni viticole: stato dell'arte e future applicazioni

Marco Vieri^{1*}, Giancarlo Spezia² e Pier Paolo Pagni¹

¹ Dipartimento di Economia, Ingegneria, Scienze e Tecnologie Agrarie e Forestali, Università di Firenze, via San Bonaventura 13, 50145 Firenze

² Istituto di Frutti-Viticoltura, Università Cattolica del Sacro Cuore, via Emilia Parmense 184, 29100 Piacenza

Ricezione: 06 novembre 2009; Accettazione: 16 gennaio 2010

Engineering of viticultural production: state of the art and future applications

Abstract. The modern viticulture is a complex activity, embedded in the wine production system which today is acknowledged as a very high value trade in the whole international market: this status has allowed a high evolutionary development in the operational and productivity techniques and technologies. Italian wine production today requires increasing attention to the quality and tipicity of product; the technological tools that have developed over the years and are now available for application on agricultural machinery are a resource that can enable wine companies to enhance the most out of their available resources. Today the mechanization uses technologies increasingly integrated with the type of crop, seeks energy savings, ensures better safety for workers and is gaining increasing market share and attention. Agronomy, environment, health and engineering are no longer compartmentalized disciplines, rather integrate each other to provide effective solutions safeguarding for environment and human health. These technologies belong to the field of Precision Agriculture (precision farming), an agricultural engineering branch borne in the mid-90s, which employs geo-referenced data based on the currently widely used, GPS technology and analytical models through which management or decision information are directly from the field. Utmost importance is given to digital terrain modeling (DTM) as a new tool for territorial analysis for understanding the shape and surface changes: suitable examples are the monitoring of georeferenced and vectorial soil and microclimatic profiles of the vineyards. CAD and GIS integrated software have made possible the transition from two-dimensional project creation to three-dimensional layouts. This shift is useful not just for visualization, but also for the management of information contained within the project and especially for the automated control of the mechanical equipments. Increasing interest is rising also towards the development of monitoring systems (crop, soil, climate, prod-

ucts and related interventions) both remote (satellite images or air) and proximal (mobile laboratories equipped with multispectral sensors). The images are filtered with multispectral analysis, separating colors according to different wavelengths and measuring the intensity at each point of the reticulum. Yet, European precision farming, although using the same basic principle and technologies, has become very different from the original American precision farming, developing more the sensorial part in order to have direct control of the equipment: this approach also allows an increasing number of mechanical operations such as fertilization, defoliation, harvest and soil tillage. The authors report the *CURRENT AND SHORT TERM FORESEEABLE INNOVATIONS* that farmers will have available for the production of typical and high quality wines in respect of sustainability.

Key words: vineyard mechanization, sustainable and precision viticulture, technological innovation.

Introduzione

Si può ragionevolmente affermare che la coltura della vite ha da sempre rappresentato, nella diversità delle condizioni territoriali ed ambientali, uno degli esempi più significativi per la varietà e la ricercatezza delle soluzioni tecniche e tecnologiche adottate: si pensi ai cesti di Santorini, alle buche di Pantelleria, alla pergola delle Alpi, fino alle moderne strutture degli impianti a spalliera.

Le caratteristiche intrinseche dell'impresa vitivinicola, fondata sull'azienda agraria, sulla terra e su una coltura attuata nella previsione di un turno superiore ai 20 anni rendono sempre più necessario, in entrambe le fasi di progettazione e gestione del sistema produttivo, un attento studio di previsione e di verifica di tutti i fattori produttivi, che richiedono nuove competenze, più efficienti procedure e adeguati strumenti di monitoraggio e controllo (Vieri, 2004).

In questo contesto il ricorso alla meccanizzazione è finalizzato non solo alla riduzione dei costi di pro-

* marco.vieri@unifi.it

duzione ma, in maniera sempre più decisa, anche e soprattutto al raggiungimento di standard qualitativi più elevati. La tendenza attuale è pertanto quella di migliorare ogni momento della tecnica colturale, privilegiando l'impiego di macchine che col proprio lavoro meglio si integrano con i nuovi obiettivi agronomici (Pezzi, 2005).

L'acquisizione di tecnologie, la loro combinazione e il loro schema di impiego devono essere analizzate con estrema attenzione alla adeguatezza e alla affidabilità nel tempo. Tutto ciò impone un allineamento del lavoro e degli investimenti in agricoltura agli altri settori produttivi, con la necessità impellente di un rinnovamento tecnico e tecnologico importante, ma costringe pur sempre l'azione imprenditoriale a muoversi nel difficile e stretto passaggio delimitato dalle condizioni particolari dell'attività agricola da una parte e dalla necessità di massima efficienza e produttività delle risorse dall'altra (Pellizzi, Vieri, 2007). Le "condizioni particolari" delle attività agricole ne vincolano fortemente tutti gli aspetti progettuali e gestionali: l'unione contemporanea di **stagionalità** delle operazioni, **variabilità degli ambienti di coltivazione** e sue conseguenze sul suolo e sulle colture, **tempestività** di intervento, **elevata intensità periodica** delle operazioni, **variabilità operativa** in relazione alle mutevoli condizioni ambientali, è assai rara se non impossibile da riscontrarsi in qualsiasi altra attività lavorativa.

I sempre più attuali parametri di efficienza e produttività impongono oggi una revisione delle attività e delle pratiche agricole con una analisi di tutto il sistema produttivo, nelle sue micro e macro componenti che costituiscono lo scenario delle Risorse, dei Vincoli e dei Prodotti (fig. 1).

Una considerazione particolare riguarda le *risorse*, cui appartengono elementi spesso considerati intoccabili come la terra, le tecniche e le colture. Nel concetto di impresa e pur con la prudenza sempre necessaria nelle scelte di un sistema complesso come quello agrario, è d'altronde indispensabile rivedere la combinazione dei fattori in una difficile ma ad oggi indispensabile moderna rivoluzione concettuale; ne sono un esempio concreto i nuovi schemi sistematori per l'impianto di vigneti mediante tecnologie di modellazione vettoriale georeferenziata e l'impiego di macchine a controllo automatico con cui, sulla base del progetto vettoriale si rimodella la pendice, si crea una sistemazione con interrimento dello scheletro, si effettua il trapianto impostando o creando una anagrafica delle piante messe a dimora e si configura la base di una geometria perfetta su cui operare con tecnologie sito-specifiche.

Il presente articolo, partendo dal presupposto della necessità di una corretta conduzione imprenditoriale di fattori molteplici, variabili e differentemente configurabili, cerca di analizzare le linee di sviluppo delle moderne tecnologie disponibili, per le diverse tecniche di progettazione e gestione delle produzioni viticole, focalizzando l'attenzione su 5 fattori fondamentali:

- la moderna ingegneria delle produzioni viticole;
- la progettazione di un sistema-vigneto tecnicamente e tecnologicamente compatibile ed integrato con tutti i fattori produttivi e ambientali;
- i nuovi sistemi di monitoraggio e controllo ambientale, colturale ed operativo;
- l'evoluzione delle operatrici e la necessità di macchine compatibili ed adeguate ai nuovi sistemi del controllo di precisione.
- la necessità di indurre nuove professionalità per preparare i sistemi gestionali dell'azienda agricola alle future tecnologie che si vanno prospettando.

Sulla base di questi capisaldi, si è cercato anche di delineare un quadro delle innovative tecnologie riconducibili a questa ingegneria delle produzioni viticole, affrontando le diverse fasi operative, dall'impianto di vigneti sostenibili e compatibili con l'ambiente di coltivazione, alle diverse procedure di monitoraggio colturale ambientale ed operativo, per poi esplorare le possibilità innovative che la viticoltura sostenibile di precisione sta inducendo nelle operazioni meccanizzate al vigneto.

La moderna ingegneria delle produzioni viticole

Gli sviluppi che hanno caratterizzato la meccanica viticola nell'ultimo decennio richiedono un moderno, multidisciplinare e nel contempo ritrovato "approccio agronomico integrato" dettato dall'obiettivo di una viticoltura sostenibile e mirato ad una cura individuale e consapevole della pianta, della biocenosi e delle componenti ambientali interagenti.

E' così necessario aggiornare anche la definizione di meccanica e meccanizzazione in un concetto più ampio di ingegneria delle produzioni viticole (IPV). Il processo di meccanizzazione dell'impresa viticola moderna è infatti imprescindibile da una ingegnerizzazione dei processi produttivi riguardanti gli aspetti informatici (software e hardware), gli aspetti di monitoraggio colturale e operativo e quelli di tracciabilità e rintracciabilità di processo e di prodotto (fig. 2).

Gli strumenti e gli approcci della moderna ingegneria viticola sono oggi chiamati a conoscere e interpretare sempre più a fondo il vigneto riguardo a parametri che fino ad oggi non erano completamente

quantificabili quali l'eterogeneità interna degli appezzamenti; questa variabilità diventa oggi il fulcro delle applicazioni meccaniche sito-specifiche e costituisce il fondamento della sostenibilità, ecocompatibilità e rintracciabilità dei processi delle produzioni viti-vinicole.

Il vigneto deve, oggi più che mai, essere considerato un elemento vivo nel quale l'insieme dei vari fattori ambientali, colturali ed antropici viene riconosciuto e valorizzato per la migliore espressione dei caratteri della vite e del *terroir* nei vini tipici di qualità.

Lo studio dell'areale viticolo assume allora un'importanza fondamentale per poter comprendere queste variazioni di comportamento in relazione alla zona in cui ci troviamo e, allo stesso tempo, assume importanza indiscutibile quando si cerca di ottenere e valorizzare la diversità di ciascun vino in base alla provenienza della materia prima.

Ma la complessità della ingegneria delle produzioni viticole è oggi una risposta consapevole ed efficiente a nuovi obiettivi aziendali e di mercato, oggi necessari:

- l'aumento delle capacità operative e della precisione nell'esecuzione delle operazioni che oggi si può avvalere di sensori e sistemi di georeferenziazione integrata nelle fasi di progettazione, realizzazione e gestione del vigneto;
- la realizzazione di impianti efficienti e d'altronde compatibili con le esigenze ambientali e paesaggistiche;
- il controllo della qualità igienico-ambientale nelle operazioni di campo;
- il controllo della qualità del prodotto nella fase di raccolta;
- l'ottenimento di prodotti di qualità che esaltino il *terroir*;
- la tracciabilità e rintracciabilità di tutto il processo produttivo.

Gli strumenti tecnologici che la ricerca ci mette a disposizione appartengono al settore dell'Agricoltura di Precisione (*Precision Farming*), branca dell'ingegneria agraria nata nella seconda metà degli anni '90, che si avvale dell'impiego di dati georeferenziati e di modelli analitici con i quali è possibile ottenere informazioni gestionali o decisionali direttamente in cantiere di lavoro.

Per mezzo degli ormai noti sistemi GPS (*Global Positioning System*) (Cina, 2000), DGPS e più recentemente RTK-DGPS (*Real Time Kinematic Differential GPS - sistema corretto per avere precisioni anche subcentimetriche*) (Proffitt et al., 2006), il dato rilevato viene restituito con la sua esatta allocazione al suolo con la possibilità di allestire precise "mappe tematiche" che ordinate con sistemi GIS (*Global*

Information System) e analizzate con la "modellistica informatica" possono restituire informazioni (Gubiani et al., 1999) quanti-qualitative sul micro-ambiente, sul suolo, sulla vegetazione e sul prodotto per delimitare le "aree omogenee" delle coltivazioni e la loro caratterizzazione (Vercesi et al., 2002).

La Viticoltura di Precisione (VP) rappresenta così l'insieme delle tecniche e tecnologie che possono rendere oggettivamente possibile una razionale agricoltura di qualità fortemente fondata sulla sostenibilità e sulla valorizzazione del *terroir* (Pagni et al., 2008). La Viticoltura di Precisione si configura come una strategia gestionale che si basa su tecniche geografiche e informatiche avanzate, meglio riassunte nel termine "tecniche geomatiche".

Il termine "qualità del vigneto" (QV) (Fregoni, 1998), ancora oggi pressoché assente in letteratura, diventa il concetto fulcro di tutte le tecniche e tecnologie riconducibili all'agricoltura di precisione:

- la QV può così essere definita come un insieme di informazioni agronomiche (pedologia, microclima, stato vegetativo, stato idrico della coltivazione, ecc.) utili ai fini della caratterizzazione di un determinato appezzamento o parti di esso. La combinazione, secondo protocolli specifici, delle diverse informazioni ottenute permette in secondo luogo l'ottenimento di una caratterizzazione quanti-qualitativa delle uve stesse (resa ad ettaro, tenore zuccherino, acidità, polifenoli, ecc.). La VP, sfruttando tecnologie *geomatiche* avanzate, permette di raccogliere le diverse informazioni necessarie, elaborare un quadro completo della qualità del vigneto e delle uve e di conseguenza impostare una gestione colturale razionale (concimazioni, cimature, sfogliature, diradamento grappoli, epoca di vendemmia) (Pagni, 2009) (fig. 3).

Lo sviluppo recente della VP è proprio quello della realizzazione di sistemi automatici di gestione variabile dei diversi interventi colturali mediante tecnologie a rateo variabile (VRT), in base alle mappe tematiche ottenute.

In maniera complementare alla VP si stanno inoltre sviluppando anche nella gestione delle pratiche agrarie le tecnologie di identificazione automatica a radiofrequenza RFID (*Radio Frequency Identification*) ai fini della tracciabilità e rintracciabilità di tutte le fasi di produzione (Manzoni, Bandinelli et al., 2008) (fig. 4).

Queste tecnologie di identificazione di oggetti, persone, ecc, permettono, grazie ad un sistema integrato di lettura e scrittura di piccoli chip, di monitorare, nel nostro caso, la produzione del vino dalla fase d'impianto della barbatella alla fase della vendita al consumatore finale. In base alle caratteristiche del sistema utilizzato è possibile registrare su piccoli Tag

(*transponder - piccole memorie registrabili*) (Pepi, 2008), direttamente inserite nella vite o sui carrelli di trasporto delle uve, una lunga serie di informazioni utili ai fini della caratterizzazione: sesto di impianto, portainnesto, vitigno, clone, parametri quantitativi e qualitativi delle uve, ecc.

Ma le possibilità tecnologiche si stanno spingendo ancora oltre con il monitoraggio remoto su *web* ottenuto con dispositivi di telemetria che si avvale di sistemi di trasmissione in tempo reale dei dati georeferenziati provenienti dall'unità in lavoro.

Tutto ciò nella esigenza di dare risposta alla domanda sempre più netta di prodotti e processi di qualità e di origine certa su tutti i componenti (dalle uve, alle confezioni); così come degli *input* produttivi (materiale genetico [*le piante*], fertilizzanti, prodotti fitosanitari, ecc.). Per l'impresa, inoltre, i parametri suddetti, così come l'impiego dei diversi macchinari in tutte le forme possibili, rientrano nel necessario controllo dei flussi che non può essere puntualmente monitorato se non con sistemi automatici capaci di dialogare con i sistemi centrali di gestione e controllo che creano un archivio di "quaderni di campagna elettronici". E' opportuno così focalizzare l'attenzione anche sulla integrazione che l' Agricoltura di Precisione ha sempre avuto con questi sistemi di comunicazione delle informazioni identificati dal termine ICT (*Information and Communication Technologies*) (Sevila, 2001).

Dal punto di vista economico le informazioni scientifiche sono caratterizzate, fino a questo momento, da una elevata frammentarietà. È molto complesso difatti riuscire a valutare in maniera univoca e approfondita il potenziale della applicazione di tecniche di agricoltura di precisione, senza riferimento ai caratteri distintivi delle singole realtà applicative. Interessanti studi economici sono stati condotti soprattutto per le applicazioni nel campo della produzione di cereali con particolare riferimento alle realtà dell' Europa del nord (Sylvester-Bradley *et al.*, 1999). Gli studi condotti a partire dal 1999 dimostrano come, a fronte di un costo di investimento logicamente superiore rispetto alla conduzione "tradizionale" dell' impresa agricola, la precision farming possa garantire ritorni economici interessanti (tab. 1) sulla base della estensione aziendale e della scelta oculata delle idonee tecnologie necessarie (Godwin *et al.*, 2003).

È però importante sottolineare come queste analisi siano difficilmente comparabili con la realtà produttiva viticola italiana, in ragione delle diverse condizioni ambientali e culturali operative: andamenti morfologici, pendenze interne ai vigneti, obblighi operativi legati alla presenza dei filari interni al vigneto.

La progettazione di un sistema-vigneto tecnicamente e tecnologicamente compatibile ed integrato con tutti i fattori produttivi e ambientali

La progettazione dell'impianto, tenendo in considerazione come primo vincolo lo studio dei percorsi delle macchine che dovranno operarvi, deve inoltre osservare precise attenzioni, per ottenere una geometria perfetta delle piante e del filare, una adeguata resistenza ed elasticità strutturale, una base di transito perfettamente livellata: fattori indispensabili per poter intervenire con la necessaria precisione e velocità nell'uso degli utensili scavallanti per la lavorazione sulla fila.

Diverse e sempre in evoluzione sono le moderne tecnologie disponibili per la realizzazione dei nuovi impianti di vigneto che si avvalgono della progettazione informatica (CAD, *Computer Aided Design*) implementata dalle informazioni georeferenziate sulle micro variazioni geo-pedo-climatiche. L'impiego di tali modelli vettoriali è molteplice e permette fra l'altro di automatizzare le diverse operazioni meccanizzate su tutto il processo di realizzazione e conduzione dell'impianto.

Georeferenziazione e vettorializzazione degli appezzamenti

Gli attuali metodi di rilievo topografico attuati con sistemi di elevata precisione e rapidità quali i sistemi appena presentati, unitamente a specifici programmi CAD permettono di ottenere immagini tridimensionali vettoriali con cui valutare nel dettaglio problemi e interventi di realizzazione con le soluzioni ipotizzabili e di verificare inoltre la struttura definitiva dell'impianto potendo analizzare attraverso simulazioni la compatibilità ambientale in termini estetici e di erosione e l'efficienza operativa dei cantieri meccanizzati che vi dovranno operare. (Vieri *et al.*, 2007). Nella figura 5 è possibile vedere grazie alla grafica tridimensionale come sarà l'aspetto del vigneto, con la

Tab. 1 - Breakeven area per applicazione di sistemi di agricoltura di precisione considerando la media del ritorno economico di circa £15 ha⁻¹ per gli appezzamenti Onion Fields e Far Highlands nel 1999/2000 (Fonte: R.J. Godwin *et al.*, 2003).

Tab. 1 - Breakeven area per precision farming system for the average returns of £15 ha⁻¹ in Onion Field and Far Highlands in 1999/2000 (Source: R.J. Godwin *et al.* 2003).

PF system type (class)	Breakeven area, ha
3	308
2	240
1	206
4	78



Fig. 1 - Schematizzazione delle micro e macro componenti che costituiscono il sistema produttivo agricolo cui il sistema viticolo appartiene.

Fig. 1 - Schematization of agriculture production system micro and macro components, to which the system vineyard belongs.

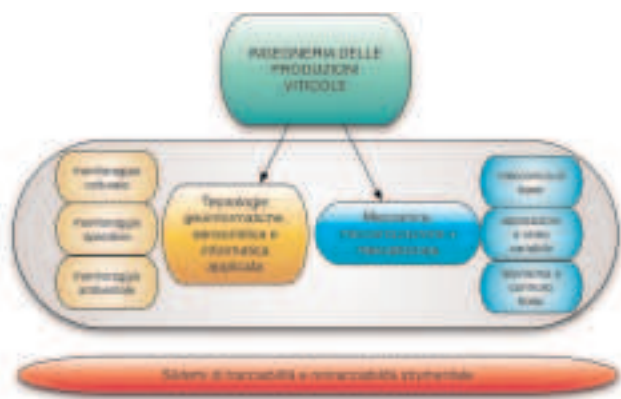


Fig. 2 - Le componenti della moderna IPV

Fig. 2 - Modern Viticulture Production Engineering components

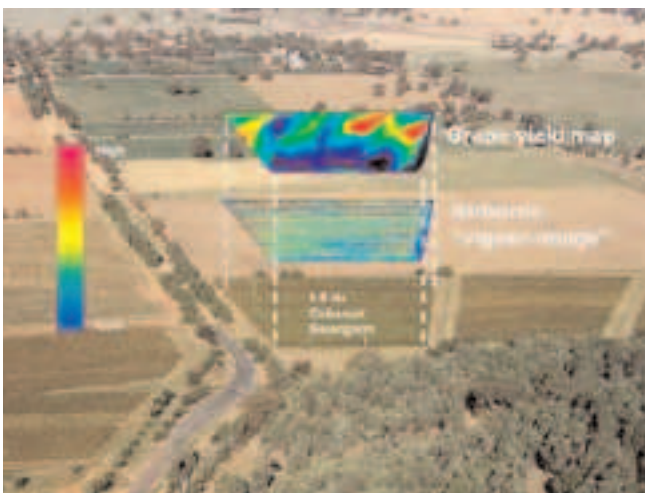


Fig. 3 - Elaborazione di mappe tematiche secondo protocolli di Viticoltura di Precisione: la sovrapposizione delle diverse informazioni consente una analisi multiparametrica di fondamentale importanza per poter comprendere a fondo la qualità di un vigneto.

Fig. 3 - Thematic maps processing according to protocols of Precision Viticulture: the overlay of different information allows multiparametric analysis of crucial importance to fully understand the vineyard quality.

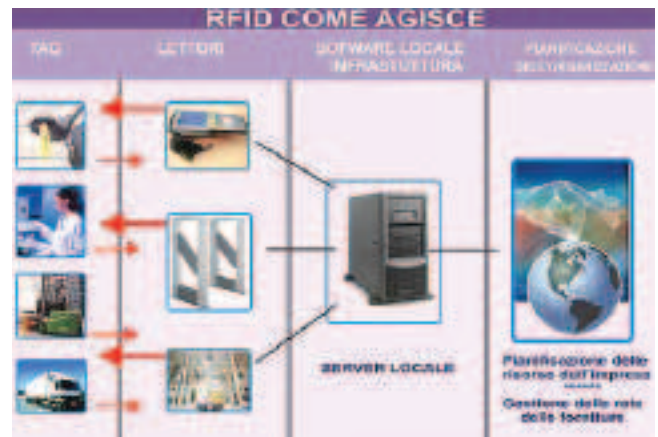


Fig. 4 - Sistema integrato per la tracciabilità documentale con tecnologia Rfid (Fonte: Eprojetech).

Fig. 4 - Integrated system for documental traceability with Rfid technologies. (Source: Eprojetech).

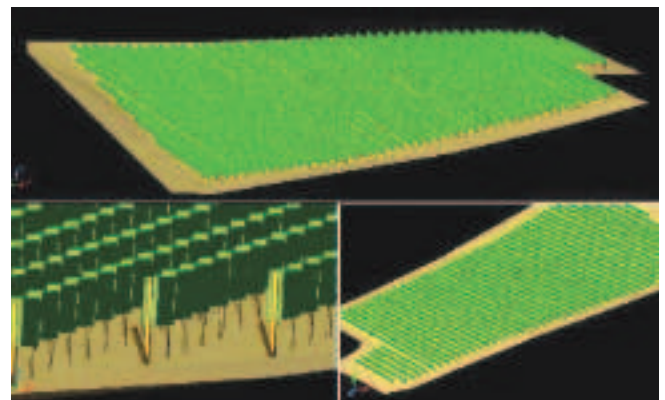


Fig. 5 - Particolari di progetto dell'impianto da realizzare.

Fig. 5 - Project detail of carrying out vineyard

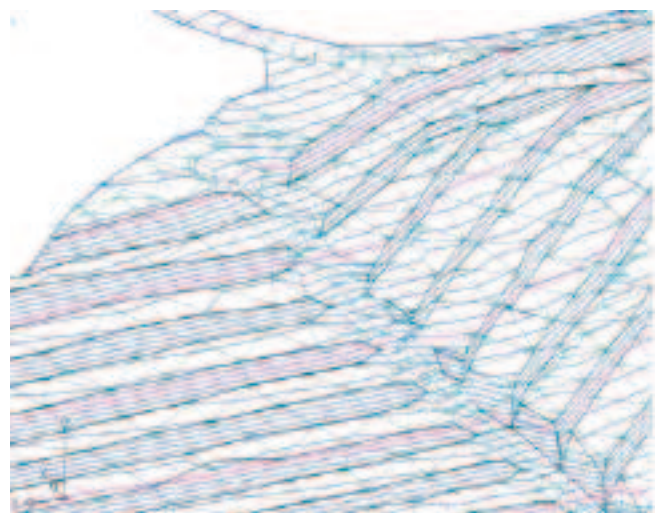


Fig. 6 - Analisi morfologica dell'impianto in fase progettuale.

Fig. 6 - Plot Morphological analysis in design stage.

possibilità di valutare la logistica operativa dei cantieri di lavoro o l'impatto paesaggistico.

L'utilizzo di software specifici permette di creare il modello digitale del terreno (*Digital Terrain Model*) effettuando la misurazione con RTK- DGPS, generando le curve di livello, disegnando sul modello tridimensionale il profilo del suolo ipotizzato e gli allestimenti previsti.

L'importanza del modello 3D è facilmente dimostrabile poiché permette di effettuare analisi delle pendenze e della conformazione del vigneto per individuare le eventuali operazioni di rimodellazione necessarie: è possibile simulare itinerari e comportamenti delle macchine per verificarne l'efficienza e la sicurezza; è possibile analizzare, tramite software integrati, le linee di corrivazione dell'acqua nel terreno, mostrando i punti di accumulo naturali e le generatrici del movimento superficiale dell'acqua, così da poter indirizzare la progettazione dell'impianto sfruttando gli acquidotti naturali, se esistenti, o procedendo alla loro correzione, tenendo conto della morfologia dei versanti e della lunghezza di eventuali terrazzamenti (fig. 6).

Questi nuovi strumenti e procedure progettuali permettono di "capitalizzare" e rendere riconoscibili dalle macchine operatrici le diverse informazioni vettoriali georeferenziate; come mostrato in figura 7, attraverso l'inserimento del progetto del vigneto sul computer di bordo dell'escavatore, l'operatore può visualizzare in tempo reale la propria posizione e le operazioni da svolgere semplicemente collimando il punto di riferimento dell'utensile con le linee di progetto, così da condurre una rimodellazione dei versanti fedele al progetto sviluppato (Vieri *et al.*, 2006).

Le nuove tecnologie geoelettriche per il monitoraggio pedologico georeferenziato

Nella valorizzazione delle produzioni tipiche e sostenibili diventa molto importante l'ausilio di strumenti e tecnologie in grado di conoscere a fondo le caratteristiche pedologiche degli appezzamenti per esaltare la *vocazionalità* dei vigneti e del *terroir* delle relative produzioni. Questo è possibile in un approccio integrato e multidisciplinare che riesce ad individuare quelle particolari risorse tipiche, oggettive e spesso non riproducibili che ogni suolo possiede.

E' il caso della applicazione di un nuovo metodo d'indagine integrato per la realizzazione di cartografia del suolo ad alta risoluzione caratterizzato dalla combinazione fra le tecniche pedologiche tradizionali e misure in continuo di resistività elettrica eseguite a tre livelli di profondità mediante la tecnica ARP (*Automatic Resistivity Profiling*) (Storchi *et al.*, 2009)

che sfrutta il parametro inverso alla conducibilità definito resistività elettrica la cui unità di misura è Ohm*m. Per studiare il parametro resistività del mezzo indagato viene immessa nel sottosuolo, mediante due elettrodi, una corrente elettrica che determina la differenza di potenziale misurata mediante altri due elettrodi. La novità del sistema ARP è legata all'elevato numero di dati georeferenziati che si possono acquisire in breve tempo su aree molto vaste ed in modo del tutto non invasivo (Gentile, Morelli, 2009)

L'attuale allestimento del sistema ARP (fig. 8) è provvisto di tre sensori per indagare contemporaneamente tre distinti livelli del terreno rispettivamente a 50, 100 e 170 cm di profondità. Le proprietà del suolo rappresentate nei tre livelli da mappe di resistività elettrica, descrivono le variazioni spaziali di ogni strato. Il sistema è integrato da DGPS e Radar Doppler ha una capacità di analisi fino a 10-15 Ha con 30.000 misure per ettaro. La posizione spaziale (latitudine, longitudine e altitudine) derivante dall'acquisizione georeferenziata descritta, ha una precisione centimetrica ed è restituita in coordinate UTM (*proiezione Universale Traversa di Mercatore*). Le stesse mappe di resistività sono visualizzate in tre dimensioni con ricostruzione delle variazioni delle quote topografiche, al fine di poter valutare una più diretta correlazione tra il dato geofisico rilevato e la topografia dell'area indagata.

Le carte di resistività realizzate vengono quindi integrate con i dati pedologici e con ulteriori indagini puntuali (sondaggi con analisi di laboratorio sui campioni estratti) per realizzare carte multi tematiche e interpretative relative a: profondità, tessitura, porosità e potenzialità vitivinicola.

Tutto ciò con lo scopo di conoscere la reale ospitalità del terreno nei confronti della pianta, oltre a fornire indicazioni per le scelte di sistemazione e gestione del terreno (fig. 9).

Una seconda tecnologia di indagine dei suoli molto utilizzata anche e soprattutto in ambiti esterni alla viticoltura (quali l'archeologia) è rappresentata dal GPR (*Ground Penetrating Radar*) o Georadar (fig. 10). Questa tecnica usa onde elettromagnetiche ad alta frequenza per analizzare il terreno con la possibilità di stimare la profondità delle radici e le proprietà idrogeologiche come ad esempio il contenuto di acqua del suolo, la conduttività elettrica, zone con profili pedologici differenti, profondità delle falde e presenza di sedimenti e pietrosità di notevoli dimensioni. Lo strumento GPR lavora inviando con un'antenna di trasmissione un impulso elettromagnetico nel suolo e determinando il tempo che l'onda impiega per tornare

all'antenna di ricezione. Da questo dato possono essere estrapolate le informazioni sulla "costante dielettrica" dello strato di suolo o dell'oggetto rilevato e quindi la profondità corrispondente. La profondità di analisi dipende dalla frequenza dell'antenna utilizzata, normalmente per le indagini viticole si ricorre ad una frequenza di 250 MHz capace di indagare a circa 7 m di profondità (fig. 10).

Nella produzione di mappe spazializzate in questo caso si ricorre all'ausilio di un indice di densità della riflessione riferito alla SAV (*Structural Activity Value*), il quale identifica, per ogni profondità di analisi, una misura sugli elementi maggiormente riflettenti. Per comprendere più a fondo il sistema si può approssimare che maggiore è la pietrosità e la presenza di struttura nel suolo (presenza di rocce e ghiaie), più alto risulterà il valore di SAV misurata (Proffitt, Bramley, 2006).

L' impianto del vigneto assistito da tecnologia dgps e progettazione CAD

La necessità di eseguire lavori con un' alta produttività oraria, una diminuzione dei costi, un minor impiego di manodopera e una precisione elevata hanno portato allo sviluppo di attrezzature agevolatrici per il trapianto automatico con cui si evitano le onerose operazioni di tracciamento e picchettamento del campo (Sartori e Rota, 2006).

A partire dagli anni '80, un fondamentale impulso allo sviluppo del trapianto automatizzato è stato fornito dalla crescente disponibilità di sistemi di tracciatura laser, limitati però dalla lunghezza della fila da trapiantare (300 m max), nonché dalla presenza di ondulazioni del terreno, che impediscono la visibilità tra emettitore e ricevitore e quindi la loro comunicazione (Spezia, 2008).

Negli ultimi anni a questa tecnologia si è affiancata la tecnica della georeferenziazione e vettorializzazione dell'impianto che permette alle macchine trapiantatrici equipaggiate con sistemi DGPS e mecatronici di effettuare il trapianto automatizzato seguendo le stesse procedure già citate per il controllo delle operazioni degli escavatori durante la fase di sistemazione (fig. 11).

L'applicazione introdotta dalla *Leica Geosystem* nel 2001 con il software dedicato *SmartWine*, ed in seguito sviluppata da altre aziende leader del settore, permette un trapianto preciso ed un aumento della capacità di lavoro di un qualsiasi cantiere dotato dei più comuni modelli di trapiantatrici automatiche (Wagner, Clemens, Fornasier). Il sistema consente di disegnare la posizione di ogni singola pianta e di trasferire poi questa informazione alla trapiantatrice il cui sistema di controllo (fig. 12) indica all'operatore la posizione di partenza e la direzione operando poi il trapianto in automatico ad una velocità di 1 m/s con una precisione longitudinale di $\pm 2,5$ cm grazie ad una frequenza di aggiornamento della posizione di 20 Hz (Leica Geosystem, Smart Wine Project).

Proprio il trapianto rappresenta inoltre un passaggio fondamentale per la tracciabilità del processo per la possibilità di creare un archivio anagrafico digitalizzato delle barbatelle messe a dimora se queste sono dotate di sistemi RFid contenenti i riferimenti sull'origine del materiale genetico e sui processi di propagazione e preparazione.

Evidente è la maggiore efficienza del cantiere automatizzato, che pur a fronte di un maggior costo di acquisto della trapiantatrice con GPS (circa 30-40-50.000 euro in più) ne rende conveniente l'adozione già con una superficie da impiantare di 200 ha/anno (Menicacci, 2006) (tab. 2).

I nuovi sistemi di monitoraggio ambientale, culturale ed operativo

Le tecnologie geoinformatiche che entrano a far parte della moderna ingegneria delle produzioni viticole consentono un innovativo approccio di tipo multiparametrico per le analisi e il monitoraggio dei processi produttivi nel loro complesso. Tutte le tecniche e tecnologie qui affrontate permettono una razionalizzazione totale dei processi produttivi, comprendendo aspetti viticoli, meccanici e mecatronici e soprattutto aspetti legati alla riduzione e razionalizzazione dei costi di produzione.

Tab. 2 - Confronto delle capacità operative di due cantieri di lavoro per l'impianto di vigneti.
Tab. 2 - Comparison of the operational capacities of two vine planting working yards.

Tipologia di impianto delle trapiantatrici	Cantiere Laser	
	Cantiere Laser	Cantiere GPS
Tracciatura preparatoria e impostazione dati	3,52	0,05
Preparazione, trasporto e caricamento barbatelle	1,45	1,35
Trapianto	13,74	4,30
Totale ore di lavoro /ha	18,71	5,65

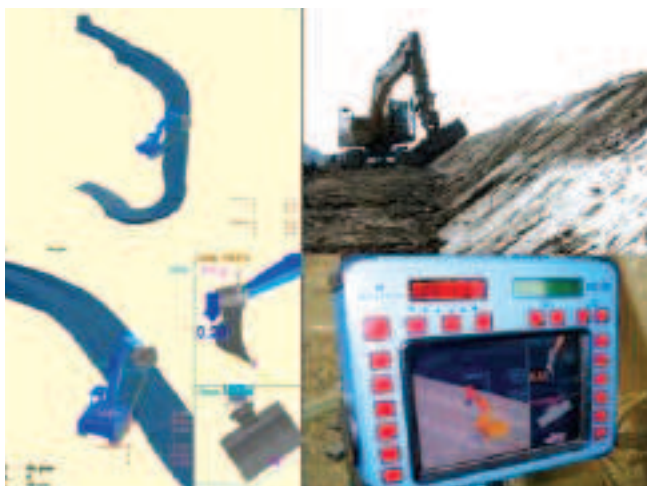


Fig. 7 - Fase di rimodellazione dell'appezzamento con particolare del software montato a bordo dell'escavatore.

Fig. 7 - Plot remodeling phase with special software installed on board the excavator.



Fig. 8 - Cantiere mobile di analisi ARP.

Fig. 8 - Mobile yard for ARP analysis

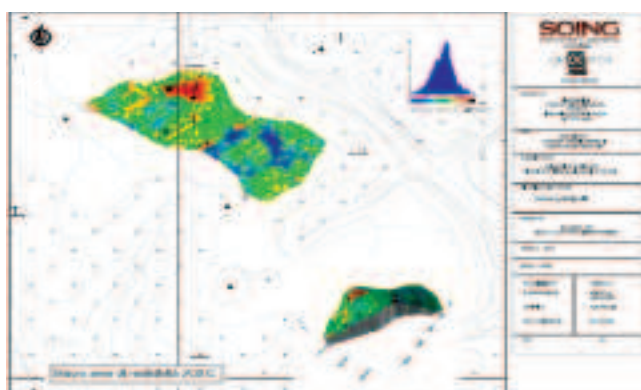


Fig. 9 - Risultati dell'indagine ARP condotta dal DEISTAF di Firenze nell'azienda agricola Poggio Bonelli (Siena) in collaborazione con la ditta SOING. I risultati comprendono un modello 2D dei dati, un modello 3D sovrapposto al DTM e il grafico rappresentante la variabilità dei dati di resistività ottenuti.

Fig. 9 - Results of ARP analysis conducted by DEISTAF of Firenze on Poggio Bonelli wine estate (Siena), with the collaboration of SOING. The results include a 2D model, a 3D model overlays with vineyard DTM and the graph representing the variability of resistivity data obtained.

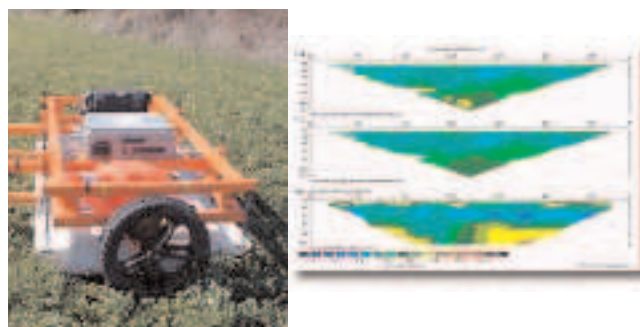


Fig. 10 - Particolare del sistema Georadar (a); esempio di visualizzazione di una struttura sotterranea (b).

Fig. 10 - Georadar system (a); soil scan example (b)



Fig. 11 - Trapiantatrice equipaggiata con sistema di guida satellitare

Fig. 11 - Vine planting machine with satellite guidance system.



Fig. 12 - Schermata del monitor di controllo della trapiantatrice – Navigazione lungo i filari. (Fonte: Leica Geo)

Fig. 12 - Screen of the vine planting machine monitor control - Navigation along the rows.

Le diverse azioni di indagine e interpretazione, separate ma fortemente interconnesse tra di loro, sono complessivamente necessarie per la creazione di un quadro più dettagliato possibile sulla qualità delle diverse zone di un vigneto attraverso una visuale completa di diversi parametri investigati e la loro connessione con la qualità e tipicità della produzione.

La successiva fase applicativa, prevede l'utilizzo di operatrici concettualmente moderne che possano sfruttare al massimo le potenzialità dell'indagine svolta, potendo operare in modo differenziato e sito-specifico (*Variable Rate Application*, VRA) all'interno delle diverse zone del vigneto. Tramite procedimenti di questo tipo, ripetuti più volte durante la stagione produttiva, è inoltre possibile comprendere gli effetti di una determinata gestione colturale (concimazioni, gestione della chioma, trattamenti fitosanitari) sulla qualità del vigneto e della produzione per poter ottimizzare decisioni ed operazioni in base ai risultati ottenuti.

Le tipologie di monitoraggio aziendale necessarie al quadro generale di indagine si possono suddividere fondamentalmente in tre ambiti:

- il monitoraggio ambientale che prevede l'acquisizione di diversi parametri di natura fisica come temperatura, umidità, tessitura del terreno, radiazione solare; e/o chimica come il pH, la sostanza organica presente, connessi con l'ambiente in cui la coltura si sviluppa;
- il monitoraggio colturale che prevede l'acquisizione di informazioni riguardanti stadi fenologici, nutrizionali, fitosanitari e produttivi
- il monitoraggio operativo che prevede l'acquisizione di tutti quei dati relativi allo svolgimento delle attività produttive come l'organizzazione aziendale ed i metodi di lavoro.

Monitoraggio ambientale

La vocazionalità viticola di un territorio dipende in primo luogo dal clima, che deve assicurare illuminazioni, temperature e apporti idrici idonei a uno sviluppo della pianta tale da permettere una soddisfacente maturazione delle uve (Vercesi *et al.* 2002). Assieme al vitigno, l'ambiente assume grande importanza nel condizionare l'espressione quali-quantitativa e nel definire la delimitazione degli areali di coltivazione. Per ambiente si intendono i vari fattori relativi a clima ed a suolo, a loro volta influenzati dalle componenti geomorfologiche quali latitudine, altitudine, esposizione, ecc. (Storchi e Tomasi, 2005): un attento monitoraggio dei parametri meteorologici e una loro corretta valutazione sono quindi, senza dubbio, fattori critici per l'ottenimento di prodotti di qualità.

Considerando i risultati di diverse ricerche condotte in proposito da Seguin nel 1969, Saayman nel 1977, Dutt *et al.* nel 1981, Fregoni *et al.* nel 1985, Lulli *et al.* nel 1989, Scienza *et al.* nel 1990, Val Leeuwen *et al.* nel 1998, Panont *et al.* nel 1998, fra i diversi componenti dell'agrosistema proprio il clima e il vitigno appaiono i principali fattori, in considerazione del fatto che il terreno risulta perlopiù un mediatore delle disponibilità che il clima offre allo sviluppo del vitigno (Vercesi *et al.* 2003) (fig. 13).

In tale chiave l'agrometeorologia (ramo della meteorologia che studia le interazioni dei fattori meteorologici e idrologici con l'ecosistema agricolo-forestale) fornisce utili indicazioni per la migliore gestione dell'attività agricola.

Le centraline meteorologiche sono connesse tramite collegamento detto *machine to machine* direttamente con il centro aziendale su uno o più terminali di riferimento. Il software dedicato della centralina una volta installato su PC provvede al collegamento diretto tra gli hardware, al download dei dati sotto forma di file di testo e alla elaborazione analitica e grafica dei dati misurati in campo con intervalli di trenta minuti (fig. 14). Oltre alla visualizzazione quotidiana dei dati microclimatici è di fondamentale importanza la possibilità di creare un database storico relativo agli andamenti climatici delle diverse annate agrarie, utilissimo sia dal punto di vista organizzativo dell'azienda sia per i protocolli di tracciabilità di prodotto e di processo.

Il controllo microambientale mostra però interessanti applicazioni anche in ambito meccanico-operativo grazie soprattutto alla notevole mole di dati che le moderne stazioni meteorologiche sono oggi in grado di rilevare.

Negli ultimi anni si sono sviluppate in questa direzione interessanti esperienze volte alla razionalizzazione della gestione del vigneto e al monitoraggio di operazioni quali l'irrigazione e l'inerbimento controllato.

Boselli (2009) propone in questo senso una innovativa metodologia di controllo e distribuzione dei turni irrigui in vigneto attraverso un monitoraggio dello stress idrico della vite condotto da sensori dendrometrici posti internamente ad un numero variabile di piante-campione. I risultati ottenuti mostrano che la misura delle variazioni diametrali del tronco e la sua massima e minima espansione nictodiurna sono indicatori correlabili al potenziale idrico della foglia e quindi allo stato idrico della pianta. L'impiego di sensori wireless può consentire al viticoltore di monitorare in continuo lo stato idrico delle piante e di intervenire in automatico con l'impianto di irrigazione, nell'ottica di gestione "a distanza del vigneto".



Fig. 13 - Moderna centralina meteorologica installata presso un'azienda del comprensorio del Chianti Classico

Fig. 13 - Modern meteorological unit installed in the area of Chianti Classico.



Fig. 15 - Sistema di immagine multispettrale a bordo di aeromobile. Nel particolare si identificano i quattro sensori di rilievo per i colori blu, verde, rosso e NIR. (UNEBird, University of New England, New South Wales)

Fig. 15 - Multispectral imaging systems on board aircraft. In particular, it's identify four analysis sensor for the colors blue, green, red and NIR. (UNEBird, University of New England, New South Wales).

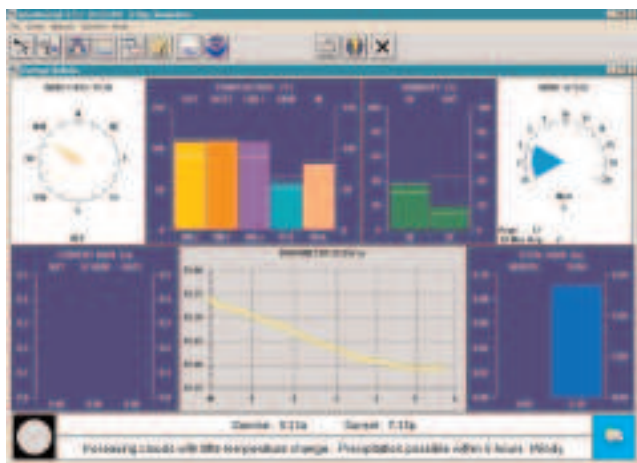


Fig. 14 - Schermata del software di analisi e visualizzazione di una centralina meteorologica

Fig. 14 - View of the analysis and visualization software of a weather control unit



Fig. 16 - Laboratorio mobile per il monitoraggio culturale dei vigneti allestito dal DEISTAF di Firenze nella stagione 2009. Il laboratorio è provvisto di sensore di riflettanza CropCircle, computer di bordo 8" e sistema satellitare DGPS-RTK.

Fig. 16 - Mobile laboratory for crop monitoring in vineyard set by DEISTAF of Firenze in the 2009 season. The laboratory is equipped with CropCircle reflectance sensor, 8" on board computer and DGPS-RTK satellite system.

Il controllo micro-ambientale è inoltre al centro di odierne sperimentazioni, volte a comprendere gli effetti di diverse gestioni del suolo e dell'inerbimento in particolare. La possibilità di implementare le stazioni di controllo climatico con sensori di “*ground-sensing*” per l'analisi delle condizioni del sottosuolo (temperatura ed umidità), permette di monitorare il lavoro delle macchine operanti in vigneto. I confronti più interessanti sono condotti su tre diverse gestioni meccanizzate del sottofila: diserbo chimico, lavorazione interceppo e pacciamatura e rispettivi rapporti con l'andamento delle condizioni termoisgrometriche dei primi strati di suolo che direttamente influenzano lo sviluppo e gli eventuali stress in vigneto.

Monitoraggio colturale

I viticoltori e gli enologi conoscono la variabilità dei vigneti fino da quando si è cominciato a coltivare uva e produrre vino. La viticoltura di precisione e la conoscenza della eterogeneità interna degli appezzamenti era già una caratteristica fondamentale della viticoltura “del passato”, nella quale il piccolo agricoltore conosceva le proprie uve metro per metro e organizzava in base a questa conoscenza le proprie operazioni colturali (Vieri, 2004). La moderna impresa vitivinicola e il relativo aumento delle dimensioni aziendali medie necessitano di strumenti moderni con i quali poter rendere disponibili a tutti notevoli quantità di dati per arrivare alla stessa conoscenza specifica su larga scala.

Gli strumenti messi a disposizione dall'agricoltura di precisione per il monitoraggio e l'analisi colturale sono fondamentalmente:

- il *Remote Sensing* per l'osservazione e il monitoraggio dei parametri colturali da distanza variabile, il quale comprende rilievi effettuati da satelliti e da aeromobili attrezzati;
- il *Proximal Sensing* che attraverso analisi con sensori in prossimità della coltura, perviene a risultati del tutto simili al remote sensing.

Il *remote sensing* permette di acquisire dati con aeromobili da una distanza variabile dai 150 m ai 3 km e con satelliti appositi operanti a centinaia di chilometri dalla terra. I principi alla base delle due tecniche sono pressoché identici: un sistema di immagine è utilizzato per rilevare e memorizzare la riflessione della luce solare da parte della superficie di un bersaglio al suolo che, nel caso dei vigneti, può includere viti, copertura vegetale e suolo. La quantità di luce solare riflessa dal bersaglio viene descritta in termini di profilo di riflettanza spettrale (o firma spettrale). Le immagini derivanti da remote sensing principalmente forniscono informazioni circa le caratteristiche

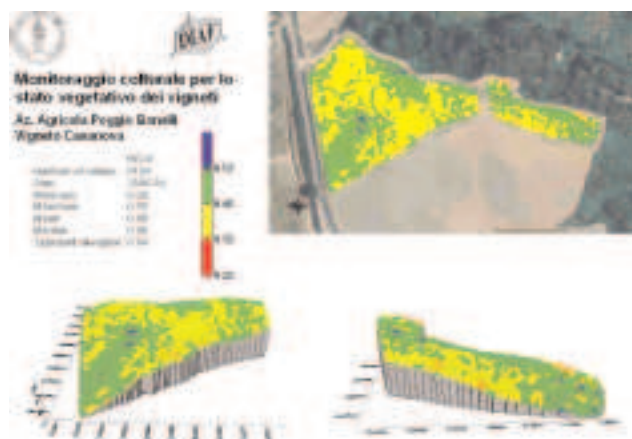
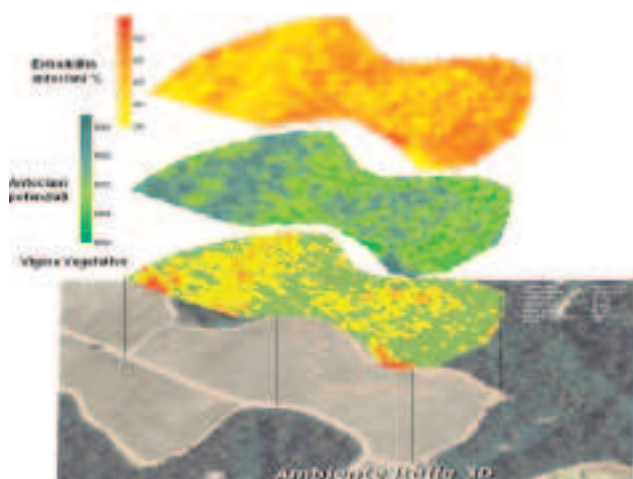
superficiali dei vigneti in particolar modo per quanto riguarda la zona di sviluppo orizzontale.

I sistemi di acquisizione montati su satelliti e aeromobili utilizzano le più moderne tecnologie di immagine digitale, le quali attraverso una “foto” del vigneto forniscono informazioni bidimensionali sui singoli pixel. La tecnologia digitale attualmente più utilizzata è quella dei sistemi di immagine multispettrale che permettono di analizzare il vigneto mediante più di una lunghezza d'onda. I sistemi più comuni utilizzano quattro sensori di immagine separati (uno per colore) che analizzano la luce solare riflessa nelle lunghezze d'onda del blu, verde, rosso e vicino infrarosso (NIR, *Near Infrared*). Un esempio di cantiere aereo multispettrale di monitoraggio è mostrato in figura 15.

Dal punto di vista dell'analisi satellitare, lo spartiacque è costituito dall'affacciarsi sul mercato di nuovi satelliti multispettrali ad alta risoluzione: era il 1999 e il satellite Ikonos-II apriva una nuova pagina dell'esplorazione remota della Terra montando a bordo un sensore con una risoluzione di 1 m nella banda pancromatica (bianco e nero) e di 4 m nel multispettrale (4 bande: blu, verde, rosso, vicino infrarosso). A esso si è affiancato nel 2001 il sensore montato sul satellite concorrente QuickBird, con una risoluzione di 0,60 m nel pancromatico e di 2,40 m nel multispettrale (le stesse 4 bande: blu, verde, rosso, vicino infrarosso) (Dosso e Spezia, 2006).

A fianco delle tecnologie di rilievo di remote sensing, negli ultimi anni si stanno sviluppando una serie interessante di sensori per l'indagine colturale del vigneto a terra denominati sistemi di *proximal sensing* o *side looking sensors*. Questi sistemi di monitoraggio operando all'interno dei filari del vigneto e quindi a relativa distanza dal bersaglio, sono in grado di fornire dati georeferenziati sullo stato vegetativo della parete fogliare con accuratezza elevata. Questo permette, nel caso di pareti fogliari strutturalmente ben mantenute, di rilevare la variazione di vigoria anche nella zona di sviluppo verticale, non raggiungibile invece dal telerilevamento a distanza. I *side-looking sensors* più utilizzati attualmente si dividono in sensori ad analisi di immagine e sensori ad analisi di riflettanza spettrale.

Tra i sensori ad immagine il sistema più conosciuto è denominato *Grapesense*, sviluppato dalla Lincoln Ventures Ltd in Nuova Zelanda (Praat e Irie, 2003). Il sistema permette di acquisire in continuo un notevole numero di immagini laterali della parete fogliare con frequenza di cinque rilievi al secondo, utilizzando uno schermo di contrasto dietro al bersaglio. Il risultato di questa analisi, che si differenzia da tutti gli altri metodi, è una mappa georeferenziata della porosità della parete fogliare.



Figg. 17 e 18 - Elaborazione di una mappa tematica NDVI della campagna di monitoraggio 2009 svolta dal DEISTAF di Firenze nel comprensorio del Chianti Classico. Nell'immagine 17 (sx) è evidenziata una sovrapposizione bidimensionale della mappa con foto aerea dell'apezzamento. Nella figura 18 (dx) viene mostrata una elaborazione 3D dei dati con sovrapposizione del profilo altimetrico del vigneto. Le zone in rosso (o giallo) e in verde descrivono rispettivamente zone ad alta e bassa vigoria.

Figg. 17 and 18 - NDVI thematic maps elaboration during the 2009 monitoring season set by DEISTAF of Firenze in the Chianti Classico zone. The image 17 (left) shows a bidimensional overlay of ndvi maps and vineyard aerial photo. The image 18 (right) shows a tridimensional data elaboration with vineyard contours overlay. The red zone denote a low vigour level while the green zone denote a greater vigour of the vines.



Fig. 19 - Schermata di controllo meccanico di una mietitrebbia del sistema CLAAS Telematics

Fig. 19 - Mechanical control screen of CLAAS Telematics system in a combine harvester.



Fig. 20 - Visualizzazione in tempo reale del lavoro di una macchina vendemmiatrice durante le prove di telemetria (Deistaf - Claas, 2009).

Fig. 20 - Real time working view of a grapes harvester during the telemetry test (Deistaf - Claas, 2009).

Per quanto riguarda i sensori di riflettanza i sistemi attualmente conosciuti sono il *Crop Circle* (Holland Scientific Inc.) e il *Greenseeker* (Ntech Inc.) Entrambi i sensori sono caratterizzati da simile funzionamento, analizzando la parete vegetale secondo il parametro della riflettanza, utilizzando una fonte di luce propria e collezionando dati su due diverse lunghezze d'onda solitamente nel campo del rosso e del NIR. Nella figura 16 è mostrato un cantiere mobile di monitoraggio dell'Università di Firenze composto da veicolo Quad 4x4, sensore di riflettanza CropCircle, sistema DGPS-RTK con base a terra per la georeferenziazione dei dati con accuratezza nell'ordine dei 2 cm, computer di bordo con software dedicato all'acquisizione dei dati dal sensore e ottenimento in tempo reale dei valori di NDVI.

L'acquisizione di dati multispettrali, sia derivanti da *remote* che *proximal sensing*, necessita di appropriate elaborazioni geostatistiche per la produzione di mappe tematiche in grado di descrivere visivamente lo stato vegetativo del vigneto indagato. A tale scopo sono stati elaborati nel corso degli anni una serie di indici di vegetazione per confrontare analiticamente la biomassa del vigneto misurata in diverse lunghezze d'onda.

Gli indici di vegetazione più utilizzati a tale scopo sono due (Hall *et al.* 2002): l'indice NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e l'indice RVI (*Ratio Vegetation Index*) chiamato anche PCD (*Plant Cell Density*) (Proffitt, 2006) entrambi adimensionali.

L'indice NDVI è calcolato dalla formula:

$$NDVI = \frac{NIR - red}{NIR + red}$$

dove NIR e *red* corrispondono rispettivamente al valore di riflettanza nelle due diverse lunghezze d'onda e per il quale all'aumentare della vigore vegetativo si registrano incrementi di NDVI nel tipico range 0 + 1 (Drissi *et al.*, 2009; Jarocinska e Zagajewski, 2009).

L'indice RVI o PCD è invece calcolato a partire dalla formula:

$$PCD.RVI = \frac{NIR}{red}$$

dove NIR e *red* corrispondono rispettivamente al valore di riflettanza nelle due diverse lunghezze d'onda.

I valori di questo indice, concettualmente più facile da ottenere, sono elevati per biomassa fotosinteticamente molto attiva e bassi per situazioni opposte.

Entrambi gli indici sono correlati con la quantità di biomassa per unità di superficie fogliare (LAI) e inol-

tre con il vigore della coltura. (Mazzetto *et al.*, 2009) (figg. 17 e 18).

Inoltre come vedremo in seguito le mappe tematiche ottenute possono essere elaborate ulteriormente e immesse in un computer installato a bordo della trattrice, il quale provvede grazie ad una serie di attuatori al controllo in automatico dell'operatrice per applicazioni a rateo variabile dalla fertilizzazione alla gestione del suolo, dalla chioma alla difesa.

Il monitoraggio operativo: la telemetria applicata alle macchine agricole

La Telemetria è una tecnologia informatica che permette la misurazione e la trascrizione di informazioni di interesse al progettista di sistema o all'operatore. La parola deriva dalle radici greche *tele* = lontano, e *metron* = misura.

La telemetria consiste nella raccolta e valutazione di una grande quantità di dati meccanici e produttivi, grazie a una serie di sensori applicati strategicamente in punti chiave di una macchina (per l'agricoltura si va dal trattore, alla vendemmiatrice, ecc.) in modo da non intralciarne il funzionamento. Il numero ed il tipo di sensori varia a seconda delle necessità di chi controlla il lavoro della macchina.

I sistemi di controllo macchine più diffusi attualmente sono il sistema *Telematics* della ditta CLAAS e il sistema *Jdlink* della John Deere. Entrambi i sistemi, nonostante le differenze tecnico-applicative, permettono di raggiungere simili risultati e sono attualmente installati su trattrici e mietitrebbie, mentre sono in fase di studio (Deistaf, 2009) alcune interessanti applicazioni su macchine vendemmiatrici.

Il sistema di telemetria applicato alla macchina agricola è oggi diversamente configurabile a seconda delle esigenze aziendali.

Sembra interessante, a tal proposito, distinguere tra il monitoraggio standard del lavoro della macchina, funzionale per il controllo e la manutenzione del mezzo e il monitoraggio sulla produttività del lavoro svolto, come ad esempio viene fatto sulle mietitrebbie per quanto riguarda la massa, la pulizia e l'umidità della granella raccolta.

Pertanto, per quanto riguarda la parte di controllo meccanico possono essere monitorati parametri riguardanti la temperatura di lavoro del motore della macchina, lo stato dei freni, la velocità, la sollecitazione delle sospensioni, la posizione della piattaforma di taglio, ecc.

Dal punto di vista produttivo esistono alcuni sensori già sviluppati sulle macchine di raccolta in grado di rilevare la produzione oraria della macchina, la resa in tempo reale dell'appezzamento, la superficie lavo-

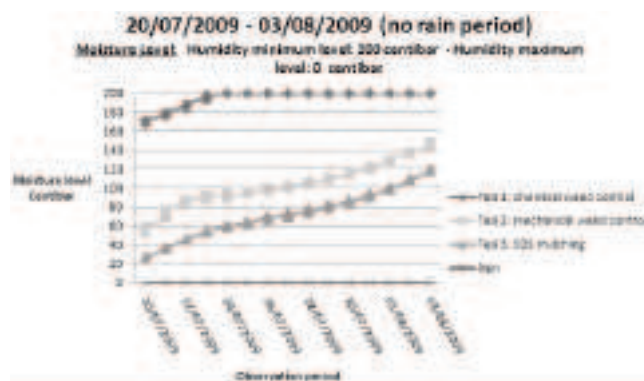


Fig. 21 - Sistema di trinciatura SDS della ditta nobili con particolare del recupero dei residui per la pacciamatura del sottofila (a) e dati relativi all'effetto dello strato pacciamante sulle condizioni di umidità del terreno (b).

Fig. 21 - Nobili SDS shredder system with particular of under-vine zone mulching (a) and related data on the effect of mulching bed on soil moisture conditions (b)

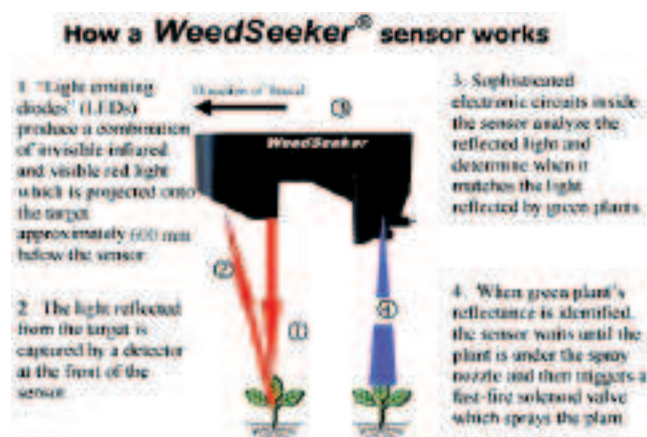


Fig. 22 - Funzionamento del sistema Weedseeker.
Fig. 22 - Works of the Weedseeker system.



Fig. 23 - Applicazione del sistema Weedseeker in vigneto su Quad 4x4.

Fig. 23 - Weedseeker application on 4x4 Quadbike.



Fig. 24 - Spandiconcime a rateo variabile
Fig. 24 - Variable rate spreader.



Fig. 25 - Spollonatrice chimica in azione.
Fig. 25 - Pinching machine on work.

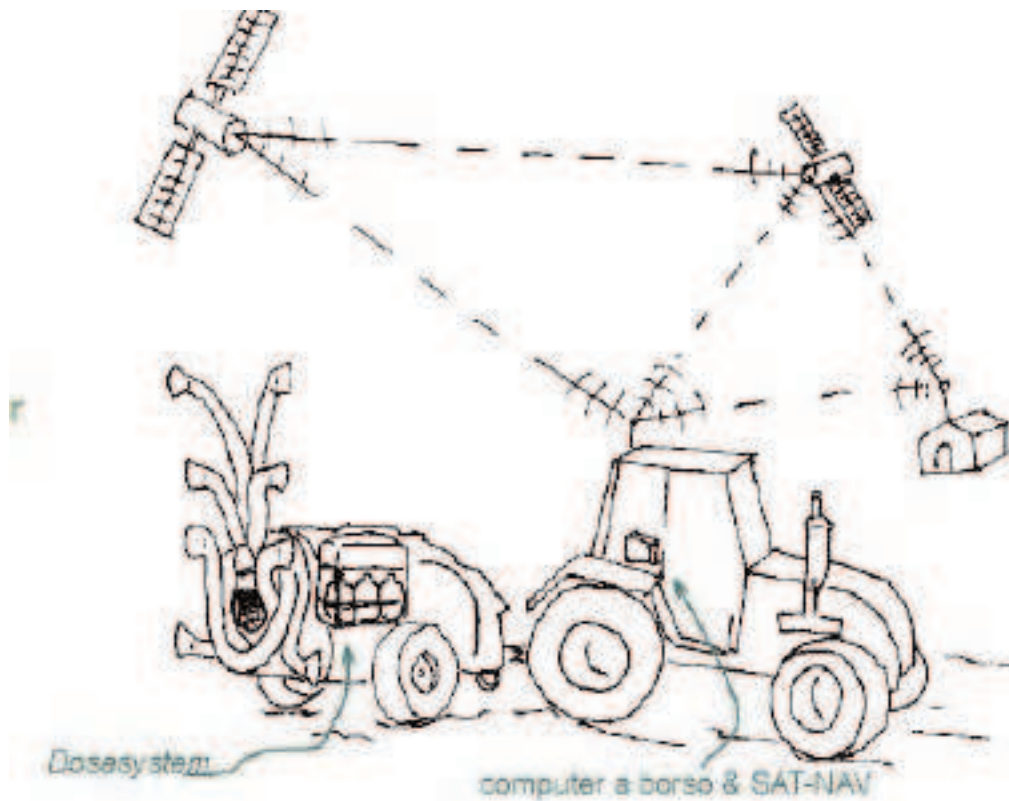


Fig. 26 - Il Dosasystem - progettato dal Deistaf e realizzato dalla Nobili

Fig. 26 - The Dosasystem - project by Deistaf and realized by Nobili

Fig. 27 - Particolare della nuova testata di raccolta Pellenc Selectiv' Process. Nel particolare sono evidenziati lo sgrappolatore lineare ad alta frequenza (a, particolare 1) e la tavola di cernita a rulli motori (b).

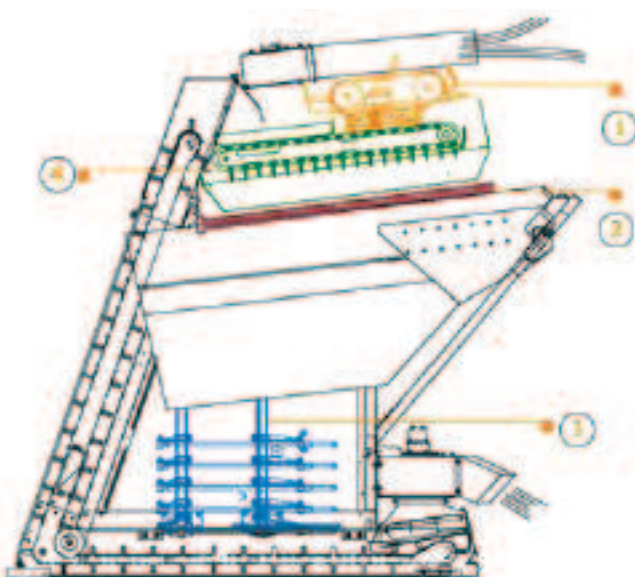


Fig. 27 - Detail of the new Pellenc Selectiv' Process harvestinghead. In particular, it highlighted high frequency linear destemmer (a) and the roller drive sorting table (b).

rata, le prestazioni nella fase di separazione e pulitura della granella (fig. 19).

Altro aspetto innovativo della tecnologia telemetrica è la possibilità di poter interfacciare le informazioni che si collezionano sul lavoro della macchina con mappe geografiche georeferenziate, permettendo il cosiddetto controllo di flotta. Attraverso il sistema GPS di cui è dotato il sistema, la ditta costruttrice che fornisce il sistema di telemetria, permette di visualizzare il lavoro della macchina direttamente su programmi geografici. Questa ulteriore novità permette ad esempio di ottimizzare la logistica dei cantieri di lavoro, di visualizzare quanto prodotto deve essere ancora raccolto, e tante altre opportunità. La visualizzazione dei dati tecnici e operativi è affidata a software reperibili via internet su supporto Google Earth. Nella figura 20 è rappresentato un tracciato di vendemmia meccanica condotta dall'Università di Firenze e Claas in una azienda del comprensorio fiorentino.

L'evoluzione delle operatrici e la necessità di macchine compatibili ed adeguate ai nuovi sistemi del controllo di precisione

Nel ritrovato concetto di Agricoltura Razionale (sinonimo di *Raisonnée* o di *Precisione*) tutte le risorse produttive (ambientale, biologica, strutturale, strumentale e umana) ritrovano una loro importanza nella ineludibile sinergia che esprimono nella impresa. La tendenza è quindi rivolta a una maggiore razionalizzazione di tutti questi fattori produttivi e, nella gestione della risorsa strumentale, la scelta delle macchine agricole deve rispondere a precise esigenze di efficacia agronomica, efficienza tecnologica ed operativa e a vincoli interni ed esterni, diretti ed indiretti (Vieri, 2003).

L'*efficacia agronomica* scaturisce dalla complessità biologica del sistema colturale e degli effetti che gli utensili e le modalità operative avranno su tale sistema, a breve, medio e lungo periodo. Questo parametro è alla base della conduzione "sostenibile" del vigneto.

L'*efficienza tecnologica* riguarda il secondo passo nella valutazione delle tecnologie da adottare, ovvero il conseguimento di adeguate capacità di lavoro della singola macchina e soprattutto di una sicura affidabilità dei mezzi. Nelle moderne macchine motrici l'aumento delle prestazioni e dell'efficienza meccanica ha portato all'adozione di dispositivi complessi che richiederebbero una elevata quanto improbabile specializzazione degli operatori per il loro corretto controllo. Questa complessa gestione meccanica è resa possibile dalla mecatronica la scienza che studia il modo di far interagire tre discipline, quali la meccani-

ca, l'elettronica, e l'informatica al fine di automatizzare i sistemi di produzione semplificando il lavoro umano. Il classico sistema di controllo mecatronico può essere raffigurato da un anello chiuso, retroazione feedback, ed è costituito da diversi blocchi principali: l'impianto da controllare (es. un motore elettrico), l'attuatore dell'impianto (es. elettronica di potenza), il controllore dell'impianto, progettato in ambiente di simulazione e implementato su centralina (DSP - *Digital Signal Processor*), infine il sensore, che misura uno stato del sistema (es. la velocità di rotazione del motore) (Wikipedia, riferimento alla definizione di Meccatronica).

Oltre a permettere il controllo di apparati estremamente efficienti, quanto complessi e delicati, questi dispositivi consentono la programmazione multipla di andature e funzioni operative, riducendo e semplificando la guida e permettendo all'operatore di concentrarsi sul controllo della qualità di lavoro delle operatrici. Il merito di tale gestione complessa è da attribuire all'enorme sviluppo dei protocolli di trasmissione dei segnali come il CAN-bus; è oggi possibile utilizzare un solo cavo per la trasmissione seriale dei segnali, con l'invio di differenti e numerose serie di dati, ognuna identificata da impulsi operanti su frequenze diverse (Bosch, 1991).

Il terzo gruppo di verifiche riguarda l'*efficienza operativa* che dipende dalle strutture, dall'impianto e dal sistema di allevamento che devono essere quindi correttamente configurati in fase progettuale; obiettivo questo piuttosto difficile se pensiamo che su un impianto viticolo verranno adottate macchine di almeno 3 diverse generazioni e quindi caratterizzate da dimensioni, tecnologie e rapporti col vigneto assai differenti. Il concetto di "integrazione fra sistemi di allevamento e macchine" si è sviluppato per la prima volta negli USA alla fine degli anni Sessanta presso la Cornell University dello stato di New York (Shaulis, 1969), in quel caso solo per la raccolta e la potatura. Oggi queste attenzioni sono rivolte a tutte le operazioni con l'obiettivo aggiunto di operare con rapidità, precisione e possibilmente su più filari, per garantire ugualmente qualità ed elevate superfici dominate.

Di seguito vengono analizzate in dettaglio le fasi operative più importanti e i relativi rapporti fra tecnologie e qualità.

La gestione del suolo e il controllo delle infestanti

La lavorazione del terreno tende ad essere impostata secondo schemi prestabiliti, poco influenzati dai risultati produttivi raggiunti a differenza, come vedremo, di quanto avviene già attualmente nella concimazione a dose variabile (Benvenuti, 2009). Le ricerche

scientifiche in materia dimostrano invece la possibilità e la convenienza di dosare l'intensità e la profondità della lavorazione in base alle caratteristiche del suolo, ai risultati colturali attesi, ecc. Le strategie per l'applicazione a rateo variabile nelle lavorazioni del terreno sono fondamentalmente di due tipi: nel primo caso vengono messe a punto attrezzature per una lavorazione sito-specifica del vigneto basata sulla lettura di mappe di prescrizione precedentemente elaborate attraverso un attento monitoraggio colturale e pedologico; nel secondo caso è ipotizzabile dotare la stessa operatrice di sensori in grado di rilevare uno o più parametri e conseguentemente di agire sull'assetto operativo dell'utensile. Da questo punto di vista il controllo della lavorazione del terreno può rappresentare sia un ulteriore strumento per il monitoraggio colturale dei vigneti sia una applicazione finale di viticoltura di precisione rientrando tra le possibili operazioni VRT. Il parametro più interessante in materia di lavorazione del terreno sito-specifica sembra essere lo sforzo di trazione degli organi lavoranti direttamente correlato a parametri quali la tessitura e l'umidità del suolo. Ad esempio un'area caratterizzata da maggiore vigoria e da produzioni elevate potrebbe presentare un valore di sforzo di trazione diverso da una zona a vigoria più contenuta e permettere di individuare eventuali zone soggette a compattazione.

L'unica applicazione di lavorazione del terreno differenziata è rappresentata dal coltivatore Combiblu, presentato durante l'EIMA 2009 dotato di dispositivi meccatronici per la regolazione automatica dell'assetto della macchina da parte dell'agricoltore o attraverso l'inserimento di mappe di prescrizione. Il sistema GPS applicato alla trattrice e i sensori estensimetri per la misura della forza di trazione forniscono informazioni in tempo reale sul funzionamento della macchina e contemporaneamente permettono di registrare informazioni utili sulla variabilità delle caratteristiche del terreno dell'appezzamento.

Nell'ambito della gestione dell'inerbimento in vigneto, la ditta Nobili ha proposto nel corso del 2008 un sistema di trinciatura interfilare associato ad uno scarico laterale dei residui nella zona del sottofila con effetto pacciamante, denominato SDS (fig. 21). La macchina prevede l'accoppiamento di una classica trinciaerba ad un sistema di recupero e distribuzione dei residui nel sottofila costituito da una coclea con scarico perpendicolare al senso di marcia.

Questa operatrice, la cui idea nasce dalle interessate richieste delle aziende biologiche e biodinamiche in primo luogo, si pone l'obiettivo di una gestione ecocompatibile dei vigneti inerbati e al contempo di una riduzione sensibile o totale di trattamenti di diser-

bo chimico. Gli attuali studi su questa operatrice hanno permesso di verificare, già durante il primo anno di rilievi, un sensibile effetto di mantenimento dell'umidità nel terreno nella zona interessata dall'effetto pacciamante anche dopo brevi precipitazioni, importante soprattutto nei periodi più siccitosi (fig. 21a e 21 b).

Gli effetti diretti sul contenimento della flora infestante nella zona del sottofila necessitano di ulteriori anni di sperimentazione durante i quali si potrà verificare la funzionalità dello strato pacciamante attraverso confronti diretti con tecniche convenzionali di diserbo o lavorazione del terreno.

La stessa operazione di diserbo chimico è stata oggetto di innovativi sviluppi nel corso degli ultimi anni con lo scopo di ottimizzare i trattamenti e ridurre sensibilmente la dose di formulato necessario. A tale scopo la ricerca scientifica, grazie anche ai suddetti sviluppi della sensoristica applicata si è orientata negli ultimi anni verso sistemi di elaborazione di immagine in tempo reale (Aitkenhead *et al.*, 2003) a bordo sia di irroratrici per diserbo chimico sia per controllo non chimico delle malerbe. Il riconoscimento ottico delle infestanti è stato introdotto per primo sul mercato dalla azienda Ntech Industries Inc. con il sistema *Weedseeker* (figg. 22 e 23). Questa tecnologia si basa sull'allestimento di sensori di riflettanza direttamente sulle irroratrici; il sensore, fulcro del sistema, emette un Led combinato nelle lunghezze d'onda dell'infrarosso e del rosso che viene proiettato sul bersaglio nel sottofila. La luce riflessa dal bersaglio viene elaborata dal sistema di controllo del sensore che determina la presenza o meno dell'infestante e provvede se necessario ad aprire il circuito di distribuzione della barra irroratrice.

L'applicazione di diserbo chimico assistito da sensori ottici consente una notevole riduzione (fino al 65%) dei volumi di miscela applicati per ettaro rispetto alle irroratrici convenzionali, garantendo comunque un'elevata efficacia del trattamento (Balsari *et al.* 2007).

La concimazione a rateo variabile

La concimazione è stata la prima operazione colturale interessata da applicazioni a dosi variabili ai fini di una maggiore sostenibilità economica e ambientale della gestione viticola. La somministrazione a dosi variabili consiste nel distribuire le sostanze nutritive solamente nelle aree e nelle quantità strettamente necessarie alle richieste della pianta e del terreno. Per fare questo occorre partire dalle mappe di monitoraggio colturale e di produzione, individuare le zone spazialmente e temporaneamente omogenee e stabili,

campionare il terreno e, attraverso modelli di simulazione, individuare le modalità di concimazione ottimali per ciascuna zona (Bertocco *et al.*, 2005).

Nonostante le applicazioni e i modelli di spandiconcime VRT abbiano avuto una buona evoluzione nell'ambito delle coltivazioni erbacee, in viticoltura si conta per adesso su un solo prototipo di questo tipo (fig. 24) sviluppato da una collaborazione tra aziende agricole (Antinori Agricola), case costruttrici (Same, Deutz-Fahr) e società specializzate in applicazioni di agricoltura di precisione (Cefriel, Tecnovict e Terradat)

In questa realizzazione la distribuzione del concime (di tipo granulare) viene localizzata superficialmente lungo il sottofila. La erogazione differenziata è affidata ad una coppia di distributori volumetrici (180 cc / giro) e di conseguenza la dose varia linearmente con la velocità di rotazione del distributore medesimo.

La mappa di prescrizione, generata incrociando i dati telerilevati e l'esperienza dei tecnici aziendali per la valutazione delle dosi da assegnare alle singole classi, viene caricata su un terminale virtuale studiato da CEFRIEL (politecnico di milano) per SAME. La comunicazione con il controller a bordo dello spandiconcime (DICKEY-john Land Manager) avviene via seriale RS232, a esso viene trasferita in tempo reale la dose istantanea assegnata alla zona in cui l'attrezzo si trova all'interno della mappa. Il controller riceve inoltre l'informazione della velocità mediante un sensore GPS DICKEY-john I-Speed. Il feedback della dose effettivamente erogata è costituito dalla rotazione dell'albero di rotazione del distributore volumetrico, si tratta di un encoder a 360 passi/giro della DICKEY-john. La velocità di rotazione dell'albero (cui è applicata anche la proporzionalità alla velocità di avanzamento) è comandata da una elettrovalvola proporzionale Hydraforce che permette un cambio dose in circa due decimi di secondo (corrispondenti a 20 cm a 3,6 km/h che è la velocità media di lavoro). L'errore medio rilevato su 30 ha di lavoro è stato inferiore al 5%.

Tecnovict ha già pronto lo sviluppo commerciale di questo prototipo con elettroniche trattore – macchina basate sulla tecnologia ISOBUS. Questo è il termine con cui ci si riferisce alla norma ISO 11783 “trattori e macchine per l'agricoltura e la deforestazione: rete seriale per il controllo e la comunicazione”.

La tecnologia ISOBUS (già ampiamente adottata nel controllo dei veicoli) induce un radicale cambiamento degli strumenti a disposizione degli operatori per la conduzione del proprio lavoro. In pratica tutte le funzioni variabili vengono controllate da un computer di bordo che seguendo istruzioni complesse reimposta come la variazione di una concimazione sulla

base di una mappa georeferenziata aziona i dispositivi delle macchine operatrici. Lo standard ISOBUS permette di connettere operatrici diverse alla unità motrice di controllo (il trattore) con uno scambio di informazioni e l'adeguamento a un determinato programma di controllo.

La gestione della chioma e potatura verde

Il termine “gestione della chioma” è stato adottato recentemente in riferimento al complesso delle operazioni meccaniche che si effettuano sulla vegetazione delle piante arboree e del vigneto (Salvatori, 1998).

Nella corretta cura agronomica della coltura questa parte costituisce un punto focale che interessa non solo l'equilibrio vegeto produttivo della pianta ma altre funzioni importanti quali: le caratteristiche di cattura della energia solare; il corretto arieggiamento delle camere vegetali; il contenimento della massa fogliare entro una determinata fascia per permette il passaggio delle macchine scavallanti nella parte superiore e per non avvicinarsi al suolo e quindi ad un microclima spesso umido nella parte inferiore; il contenimento della produzione in una precisa fascia, così da impiegare efficacemente le vendemmiatrici; il mantenimento di condizioni tali da creare un habitat sfavorevole ai patogeni e da migliorare le condizioni di penetrazione dei prodotti fitosanitari irrorati (tab. 3).

Le macchine specifiche per tale obiettivo agronomico sono, in ordine di impiego nel calendario delle operazioni: spollonatrici, cimatrici, legatrici, defogliatrici ed in casi ormai rari le pettinatrici.

La spollonatura ovvero l'eliminazione dei germogli provenienti dalle radici (polloni) o dal tronco (succhioni), è una operazione che a partire dagli anni 70 viene effettuata con l'ausilio di macchine dotati di flagelli di varia natura, normalmente supportati da alberi in rotazione condotti a lavorare accanto ai tronchi, in modo da asportare il germoglio per urto oppure per abrasione. Questa pratica permette di abbattere il fabbisogno di manodopera da circa 31 h/ha dell'operazione condotta manualmente ai 3,19 h/ha dell'operazione svolta meccanicamente con macchina monolaterale a flagelli in nylon. Quest'ultima pratica pur consentendo un grande vantaggio economico non è certo favorevole ad una gestione di qualità del vigneto a causa delle lesioni ai tronchi (utile in proposito l'impiego di tubi protettivi in materiale plastico) e della conseguente possibilità di trasmissione di fitopatie. Numerose sono le proposte tecnologiche che adottano rotor dotati di flagelli di diverso materiale (fili o nastri in plastica). Le più diffuse sono quelle con rotore parallelo al filare ed un gran numero di fili che flagellano il tronco dall'alto verso il basso. Più recente-

mente si sono realizzati rotorii ad asse di rotazione orizzontale perpendicolare al filare con diametro di 30 cm che hanno grossi fili in plastica che spazzolano il tronco liberandolo dalla vegetazione tenera emergente.

Le esperienze più avanzate, nate da ricerche scientifiche a partire dagli anni '80, adottano affidabili tecniche di trattamento chimico (Tecnovict, Clemens-Colombardo) con formulati disseccanti quali NAA (acido naftalenacetico, attualmente non più registrato per la vite) e più recentemente con Glufosinate ammonio e Carpentrazzone, entrambi erbicidi ad assorbimento fogliare che non vengono traslocati dalla vite e, pertanto, possono essere utilizzati senza rischi sulla coltura. L'isolamento dall'ambiente circostante è garantito lateralmente da una protezione morbida in PVC e nella zona superiore da una coppia di spazzole affiancate in modo da garantire la chiusura sul ceppo da trattare. L'impatto percepito dell'impiego di prodotto chimico viene ampiamente compensato, in un bilancio delle esternalità negative, dalla maggiore velocità di avanzamento e dalle minori richieste in termini di potenza e massa delle motrici, dalle migliori condizioni di lavoro per l'operatore. Non si rilevano in questa pratica escoriazioni o danni sul tronco tipici della asportazione meccanica (fig. 25).

La cimatura dei germogli è sicuramente tra le operazioni estive più importanti che vengono svolte nel vigneto e può essere effettuata una o più volte nel corso dell'anno in tre differenti periodi, a seconda dello scopo che si vuole raggiungere ed in particolare in fase prefiorale, nella fase erbacea della bacca ed in quella di maturazione degli acini.

Le tecnologie presenti sul mercato, ormai piuttosto consolidate ed ampiamente collaudate, sono essenzialmente tre: taglio rettilineo a riscontro, taglio rotativo a riscontro, taglio rotativo senza riscontro.

Le cimatrici a moto rettilineo alternativo sono basate su un sistema di lame montate una accanto all'altra su un'asta di supporto rettilinea, normalmente pilotata nel suo moto da un sistema biella-manovella. La recisione effettuata da questo modello di operatrice è netto e la sagomatura è perfetta; il principale inconveniente è invece la possibilità di ripiegare la vegetazione all'indietro quando la macchina avanza, per questa ragione la velocità di avanzamento deve mantenersi sui 2-5 km/h.

Le cimatrici a coltelli rotanti a forbice sono composte da una serie di coltelli fissi (da 4 a 7) e da un paio di coltelli rotanti entrambi lunghi dai 30 ai 35 cm, ciò fa sì che tra i coltelli fissi e quelli mobili si crei un effetto di taglio a forbice caratterizzato da una elevata precisione e continuità. Con questo tipo di

operatrice (4-10 km/h) la percentuale di tagli sfilacciati si alza notevolmente.

Le cimatrici a coltelli veloci sono nate negli anni ottanta ed hanno visto un veloce sviluppo in Germania e Francia. Questa tecnologia si fonda su un taglio effettuato da una lama ad altissima velocità periferica (da 45 a 70 m/sec.) senza la presenza di un elemento di riscontro a trattenere il germoglio in posizione, ma con profilo a elica che crea un flusso di aspirazione dalla vegetazione verso la lama.

I risultati migliori in questa tipologia d'utensile si ottengono su germogli molto teneri, mentre su quelli maggiormente lignificati il taglio è sfibrato. L'utilizzo di questa tipologia di macchina va quindi attentamente inquadrato nell'ambito della modalità di gestione della chioma che sia stata scelta.

La scelta della tecnologia impiegata influisce moltissimo sui "profili della chioma" ed i progressi che si possono profilare nell'ambito delle cimatrici riguardano soprattutto l'ottenimento di pareti vegetative di spessore ben determinato e il loro posizionamento equidistante dalla linea ideale individuata dai pali di sostegno del filare. In questa operazione l'introduzione della macchina con controlli automatici permette l'ottenimento di una qualità di lavoro superiore a quella condotta manualmente.

La defogliazione è una pratica culturale che prevede l'eliminazione di una certa quantità di foglie basali nella zona dei grappoli. Tale pratica è condotta in vari periodi compresi tra l'allegagione e la vendemmia ed i suoi scopi primari sono la rarefazione della vegetazione nella zona fruttifera con conseguente migliore efficacia dei trattamenti sanitari nonché un migliore arieggiamento che possa diminuire i rischi di inoculo di botrite.

I sistemi ad oggi impiegati possono essere concettualmente divisi in: sistemi ad aspirazione, sistemi ad aria compressa, sistemi a depressione, sistemi termici e sistemi a strappo di recente introduzione.

- *ad aspirazione*. Caratteristica comune di queste macchine è che l'aria è aspirata da un sistema di ventilazione interno alla testata a ridosso di un organo di taglio a lame. I modelli che si sono sviluppati nel corso degli anni sono fondamentalmente tre e si differenziano sostanzialmente per il tipo di apertura di aspirazione e per la tecnica di taglio delle lame:

- aspirazione a griglia con taglio a lame rotanti; metodo troppo energico per un adeguato rispetto del frutto;
- aspirazione a fessura con taglio a lame oscillanti in cui è ridotta l'apertura di convogliamento delle foglie;

- aspirazione a tamburi rotanti fessurati con taglio a lame oscillanti che produce una eccellente la qualità di lavoro.
- *ad aria compressa a ciclo discontinuo*. Prime ad apparire sul mercato già negli anni '70 furono le macchine a soffio che si basano sul principio della rottura della pagina della foglia a causa della violenta azione di un getto d'aria in pressione ad impulsi. In queste macchine un potente compressore centrifugo genera una corrente d'aria che fuoriesce ad elevata velocità da quattro ugelli portati all'estremità di bracci rotanti a 300-700 giri/minuto
- *a depressione*. Un ventilatore radiale produce un abbondante flusso d'aria che tramite due grandi tubazioni flessibili viene indirizzato dal deflettore in maniera che l'aria defluisca con flusso radente alla superficie della chioma ma inclinato verso il centro del filare. Ciò crea una depressione che attira le foglie verso l'interno del filare portandole in contatto con la barretta di taglio.
- *termiche*. Sono totalmente prive di organi meccanici in movimento ed impiegano pannelli radianti a combustione di gas, piazzati nella zona fruttifera in modo che si provochi alla foglia uno shock termico che (oltre i 60° C) porta alla denaturazione delle proteine delle cellule. Questa tipologia di operatrice non ha avuto un reale sviluppo di mercato in quanto restano molti dubbi sugli eventuali danni che potrebbero ricevere gli acini da processo di surriscaldamento.
- *a strappo*. Questa tipologia di recente introduzione (originariamente brevettato dalla ditta francese Magnetto) sta riscuotendo molti consensi. Il sistema migliore oggi sviluppato da diversi costruttori deriva dall'accoppiamento di una classica macchina ad aspirazione a griglia e lama con due rulli in sostituzione delle lame. Un rullo in nylon o materiale metallico presenta una alternanza di gole con diametro minore nella parte a contatto con l'altro rullo di gomma, oppure fori: ciò crea una serie d'aperture tra i due elementi attraverso le quali si crea un flusso di aria in aspirazione, tale da attirare le foglie fra i due rulli che immediatamente ruotando le afferrano e strappano.

Anche l'operazione di defogliazione è attualmente interessata da alcune prove di applicazioni differenziate in vigneto. Sembra infatti riscuotere notevole interesse l'idea di poter utilizzare mappe tematiche della vigoria del vigneto per regolare in modo automatico il lavoro di una macchina defogliatrice, aumentando l'effetto defogliante nelle zone a maggiore vigoria e riducendolo nelle zone a sviluppo più contenuto. Uno sviluppo di questo tipo potrebbe permettere di agire in

modo diretto sulla variabilità del vigneto in modo ancora maggiore rispetto alla sopra menzionata concimazione VRT. TECNOVIT ha sperimentato con la propria macchina a strappo questa tecnica nel 2008 in tre classi di prescrizione: nessuna sfogliatura nella zona meno vigorosa, lieve sfogliatura nella zona di vigore intermedio, forte sfogliatura nella zona ad alto vigore. Si tratta di un caso in cui l'operazione meccanica può cominciare ad avvicinarsi alla superiore qualità dell'operazione condotta manualmente.

La difesa con Prodotti Fitosanitari irrorati

L'argomento è estremamente ampio e scientificamente molto sviluppato. Notevoli sono le correlazioni con la qualità sia di processo (nelle sue implicazioni di salvaguardia delle persone, degli insetti utili e animali, della biocenosi del terreno e dell'ambiente), sia di prodotto (nelle sue influenze sui residui nei mosti). Poiché ampiamente trattato anche dagli autori (Vieri, 2003) e nella piena consapevolezza della importanza di questa operazione nelle sue fasi (preparazione della miscela, irrorazione, bonifica e smaltimento reflui) sulla diretta influenza nella "sostenibilità" della viticoltura, verranno accennati solamente i casi più evidenti di sviluppo tecnologico in relazione alla qualità.

E' comunque da sottolineare come un impiego corretto delle irroratrici non si traduce soltanto in un maggior rispetto ambientale e in una maggiore sicurezza per l'operatore, ma trova un riscontro importante anche nella qualità del prodotto finale, che, se opportunamente difeso dalle avversità risulta essere più sano ed appetibile (Balsari *et al.* 2004) (fig. 26).

Appare quindi evidente quanto le possibilità tecnologiche di cui si è parlato risultino di estrema importanza nel controllo puntuale di una operazione così critica.

Nel settore delle macchine irroratrici ad aeronebulizzazione gli esempi più significativi di "*precision spraying*", riportati nella letteratura recente sono rappresentati da:

- sistemi di dosaggio di più prodotti fitosanitari così da poter variare tipo e dosi di sostanza attiva in relazione alla specificità del patogeno ed al livello di infestazione (Vieri, Spugnoli, 1997);
- sistemi che uniscono lo "*spot spray*", ovvero l'arresto della irrorazione in assenza di vegetazione nell'area verticale della parete del filare, al riconoscimento di forma con sistemi di "*imaging*" o con sensori di profondità per poter proporzionare il quantitativo di miscela antiparassitaria applicata alla dimensione della massa vegetale;
- sistemi ausiliari di carica elettrostatica controllata con i quali da prove ormai triennali si ottiene una

riduzione del 15% sulla dose di formulato chimico impiegato e del 20% del volume complessivo applicato a fronte di una maggiore deposizione che si attesta sul 30% (Rimediotti *et al.*, 2008; Vieri e Rimediotti, 2006).

- dispositivi di regolazione della portata di aria per adeguare il getto vettore alle condizioni della chioma da trattare (Balsari, 2002).

A questi si aggiungono innovazioni recenti quali: le irroratrici a tunnel ed i recentissimi sistemi Double e CASA.

Un ruolo fondamentale in materia di controllo delle patologie in vigneto è giocato dalla tempestività e rapidità di intervento. In questo senso si sono sviluppate le moderne irroratrici multifila a tunnel in grado rispettivamente di garantire un aumento considerevole delle superfici dominabili e di contenere la dispersione per deriva e sgocciolamento del prodotto irrorato tramite sistemi di recupero. La riduzione delle perdite passa dal 90%-60% (differenza fra le prime fasi vegetative e la piena vegetazione) a valori intorno all'8% - il dato si commenta da solo; sono d'altronde da sviluppare sistemi più economici e adatti alle condizioni difficili di molti vigneti (Ade *et al.*, 2005).

Nell'ottica di una razionalizzazione della gestione operativa in fase di preparazione miscela e trattamento fitosanitario, nel corso del biennio 2008-2009 è stata sviluppata una macchina irroratrice a doppio circuito denominata Double-Oktopus NOBILI, in grado di effettuare contemporaneamente due trattamenti separati sulla parete fogliare con un solo passaggio così da poter condurre ad esempio il trattamento antibotritico mirato sui grappoli contemporaneo a quello antiperosporico/antiodico sulla intera chioma.

La ricerca scientifica più avanzata si ha sul prototipo di irroratrice "intelligente" Casa (*Crop Adapted Sprayer Application*), costituita da tre principali componenti che dialogano tra loro via CAN-BUS: un sistema di 6 sensori ad ultrasuoni (3 per lato dell'irroratrice) per l'identificazione del bersaglio da trattare denominato CIS (*crop identification system*), un sistema CHS (*crop health sensor*) in grado, attraverso l'analisi della riflettanza spettrale delle foglie, di riconoscere le foglie infette da quelle sane, un sistema EDAS (*environmentally dependent application system*) che, attraverso l'installazione di un anemometro sonico, agisce sulla portata del ventilatore e la ripartizione dell'aria erogata sui due lati della macchina in funzione delle condizioni di vento presenti al momento del trattamento (Balsari *et al.*, 2009).

La vendemmia meccanica, rapporti con la qualità delle uve

Nell'ottica di una produzione vitivinicola che punta alla qualità appare sempre più importante riuscire a vinificare partendo da uve in perfette condizioni sia per maturazione sia per pulizia. Questo non risulta sempre possibile, in particolare quando viene utilizzata la raccolta meccanica così importante per la tempestività e la produttività delle operazioni (Colella *et al.*, 2002).

Uno dei principali problemi della vendemmia meccanica risulta quello della peggiore qualità delle uve raccolte con un decremento qualitativo del prodotto di partenza (Morris 1998; Pandolfi de Fernandez *et al.*, 2000; Petrucci e Siegfried 1976). Allo scopo di ridurre al massimo la percentuale di MOG (*Matherial Other than Grapes*) presente nelle uve raccolte meccanicamente negli ultimi anni le case costruttrici si sono orientate verso lo sviluppo di innovativi e sempre più accurati sistemi di pulizia a bordo delle vendemmiatrici (Parenti e Vieri, 2006).

Nel 2002 il primo dispositivo di pulizia delle uve, brevettato da Socma, denominato diraspatore-separatore, viene installato a bordo delle vendemmiatrici Braud: tre rulli controrotanti rivestiti di numerose file di dita (in gomma alimentare flessibile) premono delicatamente gli acini nel nastro grigliato sottostante. In questo modo la frazione verde ed estranea alle uve viene scaricata a fine nastro posteriormente alla macchina e solo gli acini sono raccolti nella benna di carico.

Nel 2008 la Pellenc produce la innovativa testata di vendemmia denominata Selectiv' Process che riunisce al suo interno due importanti tecnologie atte alla pulizia delle uve:

- *uno sgrappolatore lineare ad alta frequenza* composto da un modulo a nastro trasportatore per lo stacco degli acini dai raspi dotato di scuotitore a barre frenate ad alta frequenza concettualmente molto simile a quello principale sottostante per il distacco delle uve dal raspo;
- *una tavola di cernita a rulli motrici* alloggiata sopra alle benne di carico. In questo sistema una prima serie di rulli pieni a tacche ha il compito, con la propria rotazione, di allineare gli acini. La seconda serie di rulli a sezione concava e distanziati tra di loro invece, consente la caduta dei soli acini nella tramoggia sfruttando la differenza dimensionale tra bacche e parti vegetali (foglie, racimoli, parti di raspo) che superando l'ultimo rullo vengono fatte cadere a terra (fig. 27a e 27b).

Attualmente le ricerche si stanno applicando sulla integrazione del sistema vendemmiatrice con quello di monitoraggio georeferenziato del raccolto con rileva-

zioni in tempo reale di peso, grado zuccherino, acidità, ecc., con la possibilità di differenziare il raccolto fra le due “benne” e di trasmettere i dati direttamente sui computer della cantina per poter indirizzare il materiale su diverse linee di processo.

Questa combinazione tecnologica, unita ad una strumentazione idonea per l'analisi in continuo delle uve, permette un controllo dinamico delle caratteristiche enochimiche della materia prima raccolta, prima che questa giunga nella zona di conferimento della cantina.

Il monitoraggio dinamico delle caratteristiche delle uve raccolte a macchina, necessita di dispositivi e tecnologie in grado di misurare da un lato la quantità di prodotto raccolto e dall'altro la qualità:

- *Quantità di raccolto:* sulle macchine vendemmiatrici dotate di ricevitore satellitare, sono installati dei sensori per la determinazione del peso dell'uva oppure del suo volume; in questo caso però si necessita di un prodotto perfettamente pulito, perché le foglie potrebbero falsare la misura. Prototipi sperimentali sono stati realizzati come distributori rotativi “passo-passo”; commercialmente è disponibile il sistema Canlink 3000 GRM della Scanfarm, applicabile alle macchine vendemmiatrici, in grado di pesare in continuo l'uva raccolta e di collezionare i dati georeferenziati in una memory card per gli usi futuri;
- *Qualità del raccolto:* l'analisi dinamica delle uve, invece, rappresenta ancora oggi uno scoglio difficile da superare; nonostante esistano in commercio strumenti di analisi in continuo di pH, tenore zuccherino, acidità, la loro applicazione resta prerogativa dei laboratori aziendali. La tecnologia più interessante per applicazione su vendemmiatrici sembra essere la spettroscopia del vicino infrarosso (NIRS), tecnica d'analisi che si basa sulla differente risposta di un substrato dopo che è stato investito da una radiazione incidente.

L'applicazione di queste tecnologie a bordo delle macchine vendemmiatrici, proposte dal Deistaf di Firenze nel 2007, consente di avere una mappatura quali-quantitativa della produzione raccolta con la conseguente possibilità di acquisire un dettagliato archivio storico della variabilità spaziale per poter ad esempio meglio programmare gli interventi culturali necessari per la omogeneità del vigneto e per il massimo rendimento in qualità del prodotto verso i parametri dettati dall'obiettivo enologico ultimo. Inoltre le mappe elaborate potrebbero portare a future scelte vendemmiali sito-specifiche dell'appezzamento.

Significative in questo ambito risultano le esperienze condotte in Australia a partire dal 1999 quando

divenne disponibile in commercio il primo sistema di monitoraggio “on the go” di resa produttiva per le macchine vendemmiatrici, il quale precorreva i tempi nell'abbinamento tra quantità di uve raccolte e georeferenziazione (Bramley e Proffitt, 1999).

Le ricerche condotte a partire da quegli anni hanno portato allo sviluppo di sofisticati sistemi di monitoraggio produttivo tra cui si annoverano principalmente i sensori ad ultra-suoni (*Juniper System, Usa*) che operano misurando la profondità dello strato di uve raccolte durante il flusso di scarico dal nastro trasportatore al cassone di raccolta, e i sistemi di misura gravimetrica che al contrario sfruttano l'installazione di celle di carico al di sotto del nastro trasportatore della vendemmiatrice.

Gli stessi centri di ricerca australiani hanno proposto nel 2005 le prime esperienze di viticoltura di precisione finalizzate ad una raccolta meccanica selettiva (Sethuramasamyraja *et al.*, 2005). I vigneti sono sottoposti ad un monitoraggio completo della variabilità interna sia tramite analisi di vigoria che tramite controllo delle rese produttive in un arco di tempo di almeno 5 anni. Una volta caricate le mappe così ottenute all'interno dei terminali a bordo della vendemmiatrice, collegati a sua volta ai sistemi di raccolta, la macchina è in grado di separare due diverse “qualità” di uve che verranno conferite e vinificate con procedure differenti in base alle caratteristiche enochimiche intrinseche.

Le esperienze di applicazione delle tecnologie di viticoltura di precisione sulle macchine vendemmiatrici mostrano, già dai primi approcci, quale importanza potrebbe assumere il monitoraggio puntuale delle caratteristiche delle uve che vengono raccolte installando a bordo della vendemmiatrice, unitamente al sistema avanzato di controllo GPS, sensori di misura in continuo.

Questo è tanto più importante quanto più il settore vitivinicolo italiano deve distinguersi per qualità e certificabilità dei suoi vini (Miglioli e Vieri, 2008).

La necessità di indurre nuove professionalità per preparare i sistemi gestionali dell'azienda agricola alle future tecnologie che si vanno prospettando

Lo sviluppo della mecatronica, della robotica e della ingegneria chimico-molecolare per le produzioni viticole, unitamente alla branca dell'ITC (*Information and Communication Technology*) che si è sviluppata parallelamente alla PF (*Precision Farming*), permetterà in tempi non lunghissimi di avere a disposizione tecnologie e sistemi di monitoraggio-analisi-attuazione operativa sempre più utili ai fini della razionalizzazione della sostenibilità e della riduzione dei costi produt-

tivi e della razionalizzazione dei processi. In merito al monitoraggio, al pari di ciò che è affidato oggi ai costanti sopralluoghi dell'agronomo, è in fase di studio un sistema denominato Agrobot: un mezzo mobile robotizzato in grado di orientarsi automaticamente all'interno dell'apezzamento grazie ai moduli di georeferenziazione e di telemetria, con funzione di supporto per tutti i sensori di *ground-sensing* ad oggi disponibili per il monitoraggio vegetativo e pedologico del vigneto e con possibilità di tenere costantemente aggiornato il sistema "remoto" (*via web*) di gestione.

Altro aspetto estremamente innovativo è rappresentato dall'affacciarsi in agricoltura delle nanotecnologie, "nano sensori-attuatori" che fanno apparire i chip elettronici attuali delle strutture grossolane ed enormi. Gli attuali studi applicativi le prospettano come il cuore tecnologico del futuro; nella arboricoltura del futuro è quindi ipotizzabile uno scenario in cui i sistemi elettronici e meccanici odierni, interagiranno con questi biosensori e bio-utensili nel controllo del processo produttivo tradizionale (Warad, 2005; Pagé Raymond, 2004).

Conclusioni

Manuel Vanacht ha evidenziato già nel 2001 come l'impiego della tecnologia in agricoltura è passato dal "horse power" - la cultura della potenza meccanica, al "brain power" - il controllo intelligente delle macchine.

Tutto ciò è confermato dal pressante e rivoluzionario sviluppo innovativo della meccanizzazione del vigneto, oggi meglio rappresentata dal più complesso e completo termine di **ingegneria delle produzioni viticole**. Alla meccanizzazione, intesa come introduzione di tecnologie meccaniche sempre più evolute in vigneto, si affiancano oggi le importanti tecnologie geoinformatiche e mecatroniche, attraverso le quali è possibile raggiungere fondamentali obiettivi di sostenibilità delle produzioni, risparmio dei costi di produzione e valorizzazione della qualità del prodotto finale, nell'ottica di una generale razionalizzazione dei processi produttivi.

L'evoluzione degli strumenti operativi è oggi tesa alla capitalizzazione informatico-tecnologica di quell'insieme di conoscenze e competenze che, pur con strumenti e obiettivi più semplici, facevano parte della profonda cultura rurale. La conoscenza delle caratteristiche differenziate nei diversi appezzamenti, dei fattori pedologici, climatici, agronomici, attuate con una attenta capacità di osservazione quotidiana e di una storicità degli eventi tramandata oralmente, costituiva un modello gestionale che oggi si cerca di recuperare,

affidando alle moderne tecnologie di rilevamento e analisi, quella che viene definita "*precision farming o agriculture raisonnée*" orientate al raggiungimento di una *agricoltura sostenibile* o con un termine caro ai francesi "*viticulture durable*".

I vantaggi conseguibili sono molteplici:

- economici grazie alla riduzione dei costi colturali ed al migliore utilizzo delle informazioni;
- ambientali grazie all'utilizzo razionale degli input chimici (concimi, antiparassitari). Si riesce ad ottenere il massimo da una coltivazione somministrando il minimo indispensabile (razionalizzazione della produzione); si progetta compatibilmente con il territorio;
- agronomici attraverso l'accrescimento delle performance della coltura al fine di migliorare la qualità;
- di qualità percepita attraverso la rintracciabilità di tutti gli eventi e le condizioni che si sono succedute nel processo produttivo.

Per far sì che queste innovazioni imprenditoriali possano prendere consistenza è d'altronde in primo luogo necessario che nell'azienda viticola si attui una trasformazione strutturale e progettuale, con un appropriato adeguamento delle capacità di allestire, mettere a punto e mantenere in modo efficiente le nuove tecnologie ciò che richiede: imprenditori capaci di individuare le soluzioni tecnologiche più conformi ed idonee alle reali esigenze aziendali, figure professionali capaci di "*dominare utilmente ed impiegare efficientemente*" le nuove tecnologie, strutture di assistenza che rendano effettiva la *padronanza* della gestione di queste risorse disponibili.

Riassunto

La viticoltura moderna rappresenta una attività complessa, inserita nel sistema di produzione di un bene - il vino - cui oggi è riconosciuto un valore molto elevato su tutto il mercato internazionale: questo favore ha indotto da sempre un più elevato sviluppo evolutivo e innovativo con un sistema produttivo agricolo complesso, in cui una moltitudine di aspetti devono essere gestiti ed integrati con criteri e capacità inventive, tipiche dell'imprenditorialità avanzata.

Tutto ciò induce nelle aziende competitive un processo di intensa ricerca di soluzioni tecniche, tecnologiche e gestionali che sempre meglio possano coniugare la necessità di abbattere i costi, nelle numerose, complesse e vincolate operazioni richieste dal ciclo della vite, con l'obiettivo di una elevata qualità, ricercata in tutto il processo produttivo.

Gli autori espongono le innovazioni attuali e prevedibili a breve termine che gli imprenditori viticoli

avranno a disposizione per la produzione di vini di qualità in cui forte sia la caratterizzazione del terroir e della sostenibilità delle attività impostate nelle filiere di produzione o meglio nell'intero comprensorio ad essi associato.

Parole chiave: meccanizzazione del vigneto, viticoltura sostenibile e di precisione, innovazione tecnologica.

Bibliografia

- ADE G., MOLARI G., RONDELLI V., 2005. *Valutazione delle prestazioni di irroratrici a tunnel impiegate in vigneto*. Atti di: L'ingegneria agraria per lo sviluppo sostenibile dell'area mediterranea, 27-30 Giugno, (Catania).
- AITKENHEAD M.J. et al., 2003. *Weed and crop discrimination using image analysis and artificial intelligence methods*. Computers and Electronics in Agriculture, 39, 157 – 171.
- BALSARI P., MARUCCO P., TAMAGNONE M., 2009. *Un'irroratrice intelligente e rispettosa dell'ambiente*. Informatore Agrario, 27, 49-51.
- BALSARI P., MARUCCO P., 2007. *Tecnologie innovative per il controllo della flora infestante nel vigneto*. Atti del convegno nazionale Associazione Italiana di Ingegneria Agraria, (Volterra).
- BALSARI P., TAMAGNONE M., MARUCCO P., 2004. *Norme e criteri di scelta delle irroratrici*. Macchine e Motori Agricoli 4, 45-49.
- BALSARI P., 2002. *Le attuali tecnologie disponibili per l'agricoltura di precisione*. Convegno Associazione Italiana di Ingegneria Agraria "L'innovazione tecnologica per l'agricoltura di precisione e la qualità produttiva", 22-23 giugno, (Torino).
- BENVENUTI L., 2009. *Speciale lavorazioni del terreno*. M&Ma 7/8, 36-42.
- BERTOCCO M., BASSO B., SARTORI L., 2005. *Metodi per definire le dosi variabili di fertilizzante*. Informatore Agrario 1, 27-29.
- BOSCH R., 1991. *CAN specification*. September, Bosch Ed., (Stuttgart).
- BOSELLI M., 2009. *La vite ha sete? Te lo dice un sensore*. VQ 1, 34-38.
- BRAMLEY R.G.V., PROFFITT A.P.B., 1999. *Managing variability in viticultural production*. Australian and New Zealand Grapegrower and Winemaker, 427, 11-16.
- CINA A., 2000. *GPS – principi, modalità e tecniche di posizionamento*, Ed. Celid (Torino).
- COSTANTINI E.A.C., STORCHI P., et al., 2009. *Strategies of ARP application (Automatic Resistivity Profiling) for viticultural precision farming*. Geophysical Research Abstracts, Vol. 11.
- DOSSO P., SPEZIA G., 2006. *Viticultura di precisione grande risorsa per il futuro*. Informatore Agrario, 24, 58-63.
- DRISSI R., GOUTOULY J-P et al., 2009. *Nondestructive Measurement of Grapevine Leaf Area by Ground Normalized Difference Vegetation Index*. Agronomy Journal, V.101.
- FREGONI M., 1998. *Viticultura di qualità*. Ed. Informatore Agrario, (Verona).
- GENTILE S., MORELLI A., 2009. *C'è suolo e suolo*. VQ Luglio-Agosto, 26-30.
- GODWIN R. J., RICHARDS T. E., WOOD G. A., WELSH J. P., KNIGHT S. M., 2003. *An economic analysis of the potential for precision farming in UK cereal production*. Biosystem Engineering 84 (4), 533-545.
- GUBIANI R., LAZZARI M., PERGHER G., ZUCCHIATTI N., LANDONIO S. MAZZETTO F. 1999. *Prime verifiche della precisione di un sistema di misura e mappatura automatica delle produzioni di mais*. Convegno Associazione Italiana di Ingegneria Agraria "L'innovazione tecnologica per l'agricoltura di precisione e la qualità produttiva", 22-23 giugno, (Torino).
- HALL A., LAMB D.W., HOLZAPFEL B., LOUIS J., 2002. *Optical remote sensing applications in viticulture - a review*. Australian journal of grape and wine research, 8, 36-47.
- JAROCINSKA A., ZAGAJEWSKI B., 2009. *Remote sensing for analysis of vegetation condition in extensively used agricultural areas*. 6th EARSeL SIG IS workshop, Tel- Aviv (Israel).
- MANZONI G., BANDINELLI R., TRIOLO E., RINALDELLI E., LUVISI A., PAGANO M., RIZZO R.G., GINI B., 2008. *Prospettive dell'applicazione di radiofrequenze nella viticoltura di precisione*. Terzo Simposio Internazionale del Sangiovese, 3-5 Dicembre (Firenze).
- MAZZETTO F., CALCANTE A., MENA A., 2009. *Comparing commercial optical sensors for crop monitoring tasks in precision viticulture*. Rivista di Ingegneria Agraria, 1, 11-18.
- MAZZETTO F., CALCANTE A., 2009. *Development and first tests of an automatic system for commercial vine cutting transplants based on dgps-rtk technology*. Rivista di Ingegneria Agraria, 2, 1-8.
- MIGLIOLI A., VIERI M., 2008. *Vendemmiatrici di precisione per produrre vini di qualità*. Informatore Agrario, 27, 28-35.
- MENICACCI M., 2006. *Nuove tecniche di trapianto automatizzato*. Tesi di Laurea, A.A 2005/2006, Diaf (Firenze).
- PAGÉ R., 2004. *Down on the Farm: the Impact of Nano-Scale Technologies in Food and Agriculture*. ETC Group Report. Novembre 2004 (www.ectgroup.org).
- PAGNI P.P., 2009. *Dispositivi di proximal e remote sensing per la Viticoltura di Precisione: strumenti di controllo della qualità del vigneto*. Tesi di Laurea magistrale, A.A. 2007/2008, Diaf(Firenze).
- PAGNI P.P., SPEZIA G., VIERI M., 2008. *Esperienze e prospettive della viticoltura di precisione nel terroir del Chianti*. Atti del III Simposio internazionale del Sangiovese, Firenze 3-5 Dicembre.
- PARENTI A., VIERI M., 2006. *Speciale Vendemmiatrici: Vendemmia Meccanica sempre più precisa e pulita*. L'Informatore Agrario, 19, 36-43.
- PELLIZZI G., VIERI M., 2007. *Assetto della Meccanizzazione Aziendale e apporto delle nuove tecnologie ingegneristiche nella arboricoltura sostenibile*. Nuove frontiere dell'arboricoltura italiana, pg.493-501. Gruppo Perdisa Editore, (Bologna).
- PEPI F., 2008. *Tecnologie RFid per la Viticoltura di Precisione*. Tesi di Laurea triennale, A.A. 2007/2008, Diaf (Firenze).
- PEZZI F., 2005. *Macchine per una moderna viticoltura*. Mondo Macchina, 3, 24-29.
- PRAAT J-P. & IRIE, K., 2003. *Digital image processing techniques to assess grapecanopy variability and juice quality*. New Zealand WineGrower, Winter, pages 27-28.
- PROFFITT T., BRAMLEY R., LAMB D., WINTER E., 2006. *Precision viticulture, a new era in vineyard management and wine production*. Winetitles (Australia).
- RIMEDIOTTI M., VIERI M., 2006. *La misura dell'impulso sulla vegetazione: un nuovo metodo di controllo delle irroratrici ad aeroconvezione*. Atti Giornate Fitopatologiche, I, 463-468.
- RIMEDIOTTI M., VIERI M., MONTANARI M., 2008. *Irroratrice elettrostatica per l'agricoltura ecocompatibile*. L'Informatore agrario, 24, 85-88.
- SALVATORI D., 1998. *Meccanizzazione in viticoltura: evoluzione delle tecnologie nelle diverse dimensioni aziendali*. Tesi di Laurea, Diaf (Firenze).
- SARTORI L., ROTA M., 2006. *Utilizzo della tecnologia Gps nell'impianto del vigneto*. L'informatore Agrario, 7, 60 – 62.

- SETHURAMASAMYRAJA B., SACHIDHANANTHAM S., YEN M., 2007. *Interpolation of wine grape quality indicators (Anthocyanin and Brix) and development of differential harvest attachment*. ASABE Annual International Meeting, 17 - 20 June, (Minneapolis).
- SEVILA F., 2001. *The case of ICT, Information and Communication Technology*. EurSafe "Food Safety, Food Quality and Food Ethics". The Third Congress of the European Society for Agricultural and Food Ethics, 3-5 October (Firenze).
- SHAULIS N.J., 1969. *Viticulture and mechanical harvesting of grape varieties grown in NY*. In: Cargill and Rossmiller, Fruit and vegetables harvest mechanisation: technological implications, 571-579. Ed. Michigan State University.
- SYLVESTER-BRADLEY R., LORD E., SPARKES D. L., SCOTT R. K., WILTSHIRE J.J.J., ORSON J., 1999. *An analysis of the potenzial of precision farming in Northern Europe*. Soil use and management, 15, 1-8.
- SPEZIA G., 2008. *Il satellite veglia sul trapianto*. Macchine Agricole, Gennaio, 48 - 50.
- SPUGNOLI P., VIERI M., 1997. *An high pressure injection system for precision application of pesticide*. BIOS Scientific Publishers Limited, 669-676, (Oxford).
- STORCHI P., GENTILE S., MORELLI A., ANDRENELLI C., COSTANTINI E., 2009. *Indagine ARP, nuovo strumento per la conoscenza del suolo*. VigneVini, 6, 84-86.
- STORCHI P., TOMASI D., 2005. *Ecologia viticola e zonazioni*. Manuale di Viticoltura, 17-34, Edagricole (Bologna).
- VANACHT M., 2001, *The business of Precision Agriculture*, USDA (Washington, DC).
- VERCESI A., CASTAGNOLI A., DOSSO P., 2003. *Metodologia di caratterizzazione agrometeorologica dei territori*. Informatore Agrario, 14, 13-16.
- VERCESI A., SPEZIA G., FREGONI M., 2002. *Viticultura di precisione per le zone viticole ed il vigneto*. Supplemento a Informatore Agrario 13, 31-34.
- WARAD H.C., DUTTA J., 2005. *Nanotechnology for agriculture and food system - a view*. Proc. Of the 2nd International Conference on Innovations in Food Processing Technology and Engineering, Bangkok, 11-13 January.
- VIERI M., 2007. *Dispositivi e procedure nella "viticultura di precisione" ai fini della tracciabilità di prodotto e della ecocompatibilità di processo*. Convegno "L'e- nell'ingegneria agraria, forestale e dell'industria agro-alimentare", Associazione Italiana di Ingegneria Agraria. (Firenze).
- VIERI M., 2006. *Capitolo "Ingegneria delle Produzioni Viticole Ecocompatibili" Le lavorazioni conservative nella viticoltura collinare. (coautori Romagnoli E., Bibbiani D.); La gestione dell'inerbimento nei vigneti terrazzati; L'utilizzo del compost come mezzo per contrastare l'erosione (coautori Rimediotti M., Bibbiani D.); La gestione dello scheletro nei nuovi schemi sistematori (coautori Panichi M., Corti G.); Nuovi strumenti di progettazione revisionale dei vigneti terrazzati (coautori Alderighi F.). Pg 61-109. Linee Guida per la Gestione Sostenibile dei Vigneti Collinari. Autorità di Bacino del Fiume Arno, Mediateca Regionale Toscana, Nuova Grafica Fiorentina. (Firenze).*
- VIERI M., 2004. *L'evoluzione tecnica e tecnologica della moderna viticoltura imprenditoriale*. Atti Accademia dei Georgofili, Settima serie Vol. L (179° dall'inizio), (Firenze).
- VIERI M., 2003. *Forme di allevamento della vite e modalità di distribuzione dei fitofarmaci*. Cap. 7. Volume "Forme di allevamento della vite e modalità di distribuzione dei fitofarmaci". Bayer Crop Science, (Milano). Distribuzione Informatore Agrario.